

平成18年度
次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査
報告書

平成19年3月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 製造科学技術センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://keirin.jp/>



序

我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

しかしながら世界的なメガコンペティションの進展に伴い、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上、さらにはロシア、インドなどBRICS諸国の追い上げがめざましい中で、我が国機械工業は生産拠点の海外移転による空洞化問題が進み、技術・ものづくり立国を標榜する我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この課題の解決に向けて、従来にも増してますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくためにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要があります。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして財団法人 製造科学技術センターに「次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成19年3月

社団法人 日本機械工業連合会
会長 金井 務

序

日本の製造業は、工業製品の製造技術について先進的な取り組みを行い、世界から高い信頼を得て、輸出競争力を維持してきました。

しかしながら、近年は、製品の製造技術やコスト競争力を付けてきた諸国がシェアを拡大しつつある一方、欧米を中心とする諸国には製品の環境・安全への配慮を求める動きもあります。

このような状況のなかで、わが国の製造業は、輸出競争力維持のため、製品の高付加価値化を進めるとともに、客先の需要に柔軟に対応できるオンデマンド生産や生産性向上のため生産工程の自動化やモジュール化の取り入れ等々の対応が必要になっています。

このような情勢の中で日本の製造業が対応していく方向を導く指標の一つとするべく、製造科学技術センターにおいて早くから取り組んできた製造技術や環境問題に係る事業の、製造技術・製造工程の動向調査及び検討を行い、それらに基づいて将来的な製造技術動向分析、製造技術ロードマップの概念設計を実施しました。

本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成19年3月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

事業運営組織

本事業は、次の委員会及びワーキンググループを設けて実施した。

平成18年度 次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査委員会（順不同、敬称略）

- | | | | |
|-----|-------|--|-----------|
| 委員長 | 新井 民夫 | 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 | 教授 |
| 幹事 | 鈴木 宏正 | 東京大学 先端科学技術研究センター | 教授 |
| 委員 | 竹内 芳美 | 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 | 教授 |
| 委員 | 大和 裕幸 | 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 | 教授 |
| 委員 | 新 誠一 | 電気通信大学 電気通信学部 システム工学科 | 教授 |
| 委員 | 松木 則夫 | 独立行政法人 産業技術総合研究所
デジタルものづくり研究センター | センター長 |
| 委員 | 五十嵐賢一 | 日本電気(株) ものづくり革新ユニット
ものづくり革新企画部 | 部長 |
| 委員 | 金原 信秀 | (株)日立製作所 ものづくり技術事業部
シニアプロジェクトマネージャー | |
| 委員 | 小島 史夫 | (株)デンソー 生産技術部 | 部長 |
| 委員 | 後藤 康浩 | 日本経済新聞社 | 論説委員 |
| 委員 | 近野 泰 | (株)野村総合研究所 技術・産業コンサルティング一部
技術経営コンサルティング室長 | グループマネージャ |
| 委員 | 高橋 泰樹 | キャノン(株) 生産技術本部 | 副本部長 |
| 委員 | 原口 英紀 | (株)トヨタケーラム 営業部 | 次長 |

オブザーバ 土屋 博史 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

オブザーバ 加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

オブザーバ 輿水 裕樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術二係

オブザーバ 亀屋 敏郎 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐

オブザーバ 山根 正慎 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐

オブザーバ 長町 英彦 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 係長

オブザーバ 阿部 一也 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主任研究員

オブザーバ 九津見 啓之 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

オブザーバ 瀬渡 直樹 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

事務局 瀬戸屋 英雄 (財) 製造科学技術センター 専務理事

事務局 笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長

事務局 外山 良成 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 主席研究員

事務局 間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 課長

生産システムワーキンググループ (順不同、敬称略)

主 査 竹内 芳美 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

幹 事 五十嵐賢一 日本電気(株) ものづくり革新ユニット
ものづくり革新企画部 部長

委 員 新 誠一 電気通信大学 電気通信学部 システム工学科 教授

委 員 塚本 雅裕 大阪大学 接合科学研究所 講師

委 員 徳永 仁史 独立行政法人 産業技術総合研究所
デジタルものづくり研究センター 主任研究員

委 員 尾形 潔 (株)日立製作所 生産技術研究所 企画室 室長

委 員 緒方 隆昌 川崎重工業(株) システム技術開発センター 研究企画部長

委 員 中野 冠 (株)豊田中央研究所 システム・エレクトロニクス分野
デジタルエンジニアリング研究室長

委 員 望戸 實 ホンダエンジニアリング(株) 栃木技術センター 事業企画室
技術主幹

オブザーバ 土屋 博史 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

オブザーバ 加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

オブザーバ 輿水 裕樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術二係

オブザーバ 阿部 一也 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主任研究員

オブザーバ 九津見 啓之 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

オブザーバ 瀬渡 直樹 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

事務局 瀬戸屋 英雄 (財) 製造科学技術センター 専務理事
事務局 笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長
事務局 外山 良成 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 主席研究員
事務局 間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 課長

設計ワーキンググループ

(順不同、敬称略)

主 査 大和 裕幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 教授
幹 事 原口 英紀 (株)トヨタケーラム 営業部 次長
委 員 乾 正知 茨城大学 工学部 システム工学科 教授
委 員 鈴木 宏正 東京大学 先端科学技術研究センター 教授
委 員 秋山 雅弘 (株)アルモニコス 代表取締役
委 員 石川 義明 (有) 設計生産工学研究所 取締役
委 員 岩壁 清行 (株)日本デザインエンジニアリング 代表取締役
委 員 下木 和敏 日本ユニシス・エクセソリューションズ(株)
メカニカルソリューション事業部 システム部 部長
委 員 庄司 孝 (有) ブレーンビジネス 代表取締役
委 員 渡邊 和彦 双葉電子工業(株) 精機事業部 精機商品企画グループ
情報技術ユニット

オブザーバ 土屋 博史 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐
オブザーバ 加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長
オブザーバ 輿水 裕樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術二係
オブザーバ 阿部 一也 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主任研究員
オブザーバ 九津見 啓之 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査
オブザーバ 瀬渡 直樹 (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

事務局 瀬戸屋 英雄 (財) 製造科学技術センター 専務理事
事務局 笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長
事務局 外山 良成 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 主席研究員
事務局 間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 課長

目次

1.	はじめに	1
2.	調査内容・体制	2
2. 1	調査の目的	2
2. 2	調査の内容	2
2. 3	調査体制	3
2. 4	委員会・WG開催状況	4
3.	日本の製造業を巡る社会、経済的課題	5
3. 1	日本社会の構造問題が製造業にもたらす課題	5
3. 2	日本の製造業をめぐる社会、経済的課題	8
3. 3	ものづくりにおける技能伝承	12
3. 4	日本の製造業の強み・弱み	17
3. 5	サステナビリティの観点から	19
4.	生産システムに関する調査	21
4. 1	生産システムWGの考え方・進め方	21
4. 2	わが国生産システムの問題点及び課題	22
4. 3	生産システムと技術戦略マップ	35
4. 4	生産システムロードマップ作成の作業	37
4. 5	生産システムロードマップ	40
5.	設計に関する調査	45
5. 1	設計WGの考え方・進め方	45
5. 2	設計技術の問題点及び課題	47
5. 3	設計ロードマップの考え方	50
5. 4	設計ロードマップ	52
5. 5	設計ロードマップ解説	54
6.	製造技術の動向調査	70
6. 1	動向調査の概要	70
6. 2	質問内容	70
6. 3	調査内容について	72
7.	製造技術戦略マップの策定に向けて	74
	おわりに	75
	参考資料 調査結果	77

1. はじめに

2006年度におこった原油他原材料の高騰は、日本が製造業の輸出競争力でエネルギーと食料を輸入しているのだという自明な事実を国民に再認識させた。海外へ出る一方であった製造業の日本回帰も進み、製造業の新しい姿を探る動きが高まってきた。

日本は少子高齢化が急速に進んでおり、製造業も労働力の減少と国内市場の縮小に直面する。それは製造業内での技術保持方法から企業間関係にいたるまで製造業のあり方に大きな変革を求める。一方で、地球社会全体の重要な課題は持続可能性（サステナビリティ）の確保である。日本の産業が栄えることができるのも、持続する地球環境とそれに支えられた経済活動あればこそであり、持続性社会を構築のための技術や製品の多くの部分は製造業が提案し、又提供していくべきものである。

日本の製造業の競争力を強化するには、これらの社会的要請への対応が十分可能な新しい製造システムを構築することが必須である。そのためには、近視眼的な市場対応や闇雲な技術追及が効果を挙げ得ないことは明らかであり、次世代社会構造対応型技術の体系化調査が進められた。

本調査研究では、製造技術を経済活動、持続性社会構築活動の源泉と位置づけた。技術的視点から検討だけでは、製造業の将来像を描くことはできない。技術と技能を高度化し、製造技術を経済活動として具現化する姿を知るために、まず日本の製造業を巡る社会・経済的問題を広く調査し、一方で、企業に対するアンケートによる製造技術の動向調査を実施して、問題点を絞り込んだ。次に、設計WGと生産システムWGの2つのワーキンググループで次世代製造技術を調査し、それらのロードマップを構築した。生産システムWGでは、製造技術の動向調査のデータ等をもとに、現在の製造技術のキーワードをピックアップし分類し、10年先を目処に製造技術あるいは製造体系がどの様になっているかを分析することとした。設計WGは、専門家による密度の高い議論を経て、今後必要とされる設計技術をリストアップし、それらのロードマップを作成した。

製造技術全般に亘るロードマップは世界的にもみても少ない。限定した製品、あるいは特別な加工技術に絞ったロードマップは多数存在する。しかし、設計・生産のシステム全般に関するマップは、人手作業との代替性、知能レベルの確保、初期投資と稼働コストなど予測困難な要素が多いため、作成が難しい。本調査においては、その困難性にあえて挑戦した。それは、日本の製造業の発展と持続性社会の構築という喫緊の課題への対応にはこの2つのロードマップが必須と考えたからである。

2. 調査内容・体制

2. 1 調査の目的

日本は、工業立国として製造（ものづくり）を中心に、世界の中でも先進的な取り組みを行ってきたが、近年、工業製品の製造技術を向上させてきた地域との競争に直面しており、今後は、コスト競争力の強化や、製品の差別化等による輸出競争力の向上のため、製造技術についての統合的な整理が求められている。

また、資源の大半を海外からの輸入に依存している日本にとって、資源の有効活用という新しい観点も加味した循環型製品製造等の製造技術についても検討が必要である。

このような状況の中で、産学官が連携し、これから10年、20年先におけるわが国製造業の競争力を確保するために必要な技術課題を明らかにし、その導入シナリオを示すための基礎調査として、製造技術（設計及び生産技術を含むものづくり技術）について過去からの技術及び将来出現が予想される技術を体系化した技術マップ並びにそれら技術の導入、実用化時期を予測した技術ロードマップが必要である。

そこで、本事業では、製造技術について、技術の体系化と今後求められる技術開発についてロードマップを作成し、日本の製造業（ものづくり）の課題等を検討することとした。

2. 2 調査の内容

日本の製造業のあるべき姿を模索する上で、5年後、10年後の日本の製造技術（ものづくり）の競争力強化のための技術課題を明らかにするために、製造技術分野について、最新技術だけでなく現有技術も加味し、また融合的に捉えられる技術も取り込み、5年後、10年後をターゲットとしたロードマップを作成すべく、以下を行った。

①生産工程の自動化からセル生産方式に至るまでの製造技術・製造工程の動向調査及び検討

本調査では、日本の製造業各社に対するヒアリングを実施した。

②動向調査に基づく製造技術の体系化

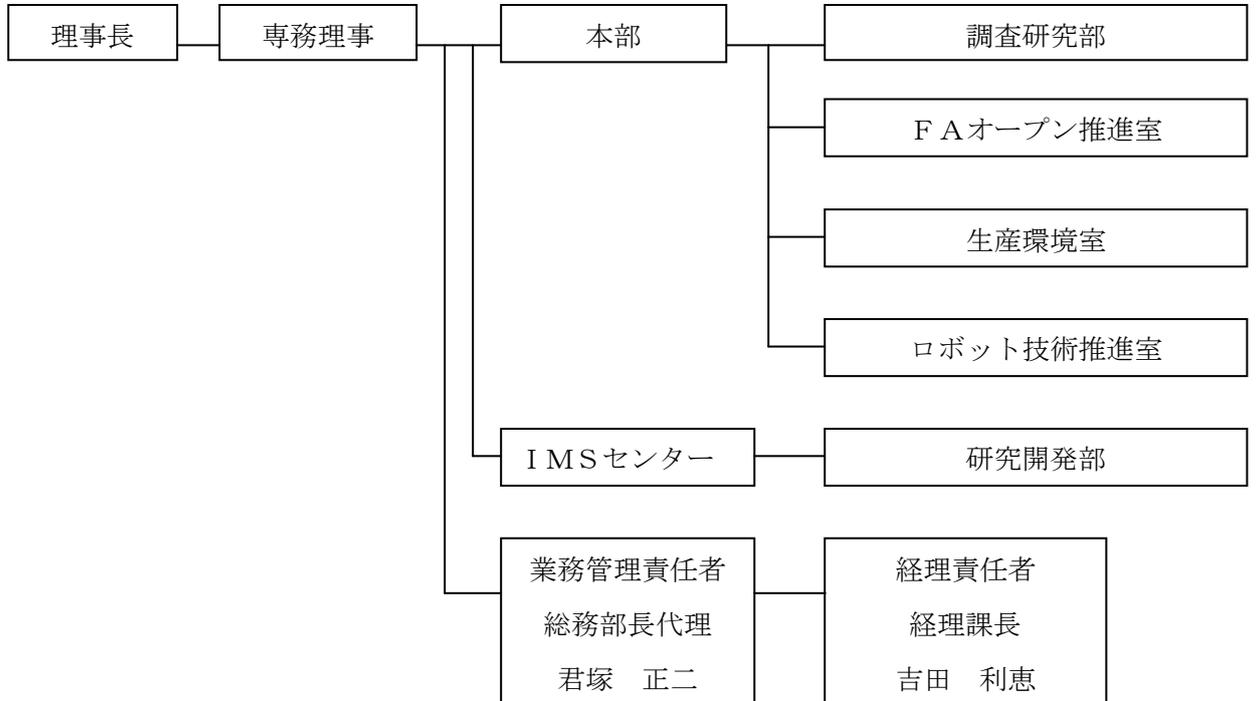
製造技術の体系化・階層化を実施した。

③将来的な製造技術動向分析、製造技術ロードマップの概念設計の実施

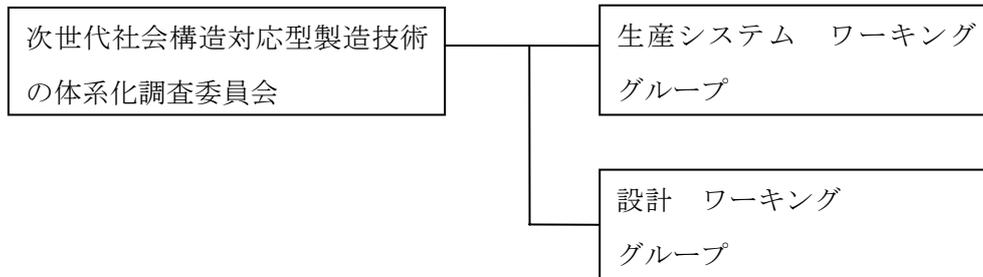
社会環境変化における将来的な製造技術動向分析を実施し、製造技術ロードマップの概念設計を行った。

2.3 調査体制

(1) 管理・検討体制



(2) 委員会体制



2. 4 委員会・WG開催状況

本調査を実施するため、以下の委員会及びワーキンググループを開催した。

次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査委員会

第1回 平成18年12月 4日

- ①今年度活動計画
- ②製造技術動向調査の検討

第2回 平成19年 2月 1日

- ①生産システム技術マップ、設計技術マップの検討
- ②ロードマップラフスケッチ検討

第3回 平成19年 3月 8日

- ①生産システム・ロードマップ、設計・ロードマップの検討

生産システムワーキンググループ

第1回 平成18年12月18日

- ①生産システム ワーキンググループの考え方と進め方
- ②製造業のあり方について

第2回 平成19年 1月15日

- ①キーワードの検討
- ②技術マップ、ロードマップのラフスケッチ検討

第3回 平成19年 3月 2日

- ①生産システム分野のロードマップ検討

設計ワーキンググループ

第1回 平成18年12月13日

- ①今年度の進め方
- ②設計キーワードの検討

第2回 平成19年 1月19日

- ①設計ロードマップのデータ検討

第3回 平成19年 2月28日

- ①設計ロードマップラフスケッチ検討

第4回 平成19年 3月23日

- ①今年度まとめ

3. 日本の製造業を巡る社会、経済的課題

3. 1 日本社会の構造問題が製造業にもたらす課題

日本はすでに2005年から総人口が減少に転じた。同時に少子高齢化も急速に進んでおり、合計特殊出生率は05年に1.25まで低下している。65歳以上の高齢者人口は総人口の20%以上に達している。こうした人口動態は製造業にとって、生産現場における作業員（直接員）の母集団の減少を意味する。サービス産業の拡大によって、就業段階における若年層の製造業離れが進む中で、母集団の減少によって製造業が深刻な作業員不足に直面するのは当然である。こうした問題の萌芽は1990年代にもあったが、バブル崩壊後の長期不況の最中で、製造業が人員削減を進めていたうえ、中高年の在職者が厚かったため、顕在化しなかった。世界好況による製造業の業績回復、工場の国内回帰という外的要因と団塊世代の大量退職という人的要因が重なってくる今後は若年人口の減少はきわめて深刻な問題になってくる。90年代に急速に進んだ製造業の中国をはじめとする海外への移転は、国内の人手不足問題を緩和する一助にはなるが、ここにも大きな問題が控えていることを忘れるべきではない。すなわち、今、世界のモノづくりの中核となっている日本、中国、韓国、台湾など北東アジアの国・地域はいずれも出生率が低く、若年人口の減少に早晚、直面するからである。合計特殊出生率は中国1.20、韓国1.08、台湾1.20といずれも日本を下回っている。将来的にみれば、大量の作業員を必要とする工程をアジア諸国に移転するのは決して容易ではない。人手の問題は日本国内で自足的に解決しなければならないのである。

そこで必要になってくるのは、自動化の問題である。日本の製造業における自動化はそれなりの歴史があり、80年代末のバブル期には製造業が一斉に生産能力の増強に走ったため、人手不足が深刻化し、各社とも自動化投資を急拡大した。だが、当時の自動化設備は柔軟性に欠け、少品種しか対応できなかったうえ、生産機種の変更に伴う段取り替えに手間がかかるケースが多かった。結果的に自動化は投資に見合うリターンをもたらさなかったケースが多かった。90年代後半に広がったセル生産は、まさにバブル期の自動化設備導入の反省にたった、人手を有効に活用した柔軟で効率的な生産方式であり、多品種少量生産という需要サイドの変化にも対応したものだ。だが、セル生産方式で必要な人手の確保すら困難になる中で考えるべきは、バブル期の自動化とは次元、発想の異なる新たな自動化である。IT業界に倣った通俗的な言い方をすれば「自動化2.0」の実現である。

「自動化2.0」に求められる要件は、多品種生産への対応力、柔軟性、人手作業の代替性、人手との連携性、限定的な初期投資と稼働コストなどであろう。とりわけ、人手と

の作業の分担、連携、換言すれば「マンーマシン・コンビネーション」こそが最大の課題である。「マンーマシン・コンビネーション」を高めていくには、作業全体の再設計すなわちプロセス・リエンジニアリングが不可欠である。当然、生産機種が変更されれば、プロセス・リエンジニアリングも必要になり、自動化設備の変更・改良も求められる。「自動化2.0」とは設備とプロセスの持続的かつ即時的なカイゼンなのである。持続性、即時性を担保するためには、設備メーカー頼りでは済まない。製造業自身が設備を改良する内製能力を持つことも「自動化2.0」のきわめて重要な要素となる。言葉を当てはめれば、「User Generated Machine (UGM)」「User Modified Machine (UMM)」といった要素が不可欠になる。製造業はそうした独自性の高い自動化設備に競争力の源泉を置くことによって、誰でも入手できる設備機械を使って大量生産し、様々な製品分野でコモディティ化を進める中国、台湾勢などとの競争に勝つシナリオを見いだせる。

日本はもちろん世界の製造業が今、直面するもうひとつ大きな課題は、環境・資源問題である。地球温暖化は歴然とした事実となり、石油、天然ガス、鉄鉱石、銅などエネルギーや資源は世界的な需要増大によって価格が高騰した。その背景にはエネルギーや資源を浪費する現在のモノづくりの根本的な欠陥がある。90年代以降の世界の製造業の特徴となっている中国などへのOEMやEMSといった形態での生産委託とサプライチェーンの進化は、モノの輸送に関わるエネルギーの浪費を拡大した。原料、部品が世界を何度も縦横無尽に行き交い、最終製品となってユーザーのもとに届けられる時代となったが、それはコストの視点からの最適化であり、エネルギーや資源の効率的利用からは非最適化にすぎない。製造業は工場内ではモノをいかに動かさないか、に注力している。生産ラインの作業者がいったん手にした部品を置かずに次の作業に移るようなモーション分析も熱心に行われている。製品配送も在庫を減らし、輸送コストを低減させるため、デポを経由させずに工場からの直送が増えている。その一方で、グローバルにみれば、部品や製品はコスト上の適地生産のために、長距離運ばれているのである。工場内の数十センチ、数十メートルにはこだわる一方、工場外の数百、数千キロメートルには頓着しないのである。

こうした矛盾を解消するには、原料から中間加工、最終製品の組み立てまでを一カ所で行う垂直統合型、上下流一貫型の生産モデルの再構築が必要である。従来は工程を分割し、それぞれを最も低コストの拠点に任せることが選択され、結果的にサプライチェーンのともだちない延長をもたらした。いかにモノを動かさずに一カ所でできるだけ多くの工程をインライン化し、こなすかという「コンパクト・プロダクション」が必要になる。そのためには、多品種少量生産ながらコスト競争力を備えた自動化設備が不可欠なのである。環

境問題や資源制約に対応した新たなモノづくりの実現のためにも「自動化2.0」は達成すべき課題なのである。中国や台湾あるいは東欧諸国などに巨大な生産拠点を構築し、グローバル市場に輸出していくモノづくりのモデルから垂直統合型の生産拠点を世界に分散させ、各国、各地域の需要を自足的に賄う生産モデルへの転換が今、必要になろうとしている。日本は国内への生産拠点の回帰を通じて「自動化2.0」を推進し、世界のモノづくりモデルの転換を促す責務も負っている、とあってよい。

3. 2 日本の製造業をめぐる社会、経済的課題

(1) 我が国製造業の課題

我が国の製造科学技術に携わる装置業界・材料業界・加工組立業界（以下、当業界）は、自動車やエレクトロニクス産業等の日本の主要製造業の自動化・効率化を支えながら発展して来た。

現在、主要なユーザである自動車やエレクトロニクス産業では、最終製品の消費地がBRICsを中心とする途上国に大きく拡大、同時に先進国を中心とした消費者ニーズの多様化を背景に、ものづくり・生産設備の高度化、ターンキーソリューションニーズが高まるなど、製造技術に携わる当業界を取り巻く外部環境は大きな変化の中にある。

すなわち、製造科学技術の提供者は、グローバル化に追随し、世界規模で事業スピードを加速させ、提供する技術の総合力を発揮してソリューション提供者へと変革することが求められている。（図 3.2.1）

(2) 「技」の高度化と人材

製造科学技術は、3つの「技（技術：知識、技能：経験、技巧：スキル）」の連携関係を強化し、環境変化への対応を求められる一方、これら3技を支える労働環境も大きく変化を遂げて行く。

労働者を取り巻く環境は、ここ数年で大きく変化した。経済が長期間低迷を続ける中、「長期雇用、年功賃金」といういわゆる日本的雇用慣行は、そのままの形では、経済社会の変化に対応できなくなるとされ、同時にグローバル化、情報化やサービス経済化の進展に合わせて、労働者に求められる能力が高度化、専門化している。ところが、我が国労働人口は2007年を境に、急速に担い手を減少させざるを得ない。（図 3.2.2）

また、市場においては、製品や市場のライフサイクルの変化が加速し、市場立上とコモディティ化が短期間に回転して行く傾向が強まっている。このような中で、モノ作りに求められる役割の変化を短期間のうちに明確に変化を意識して、その変化への対応を的確に行う必要性が高まっている。（図 3.2.3）

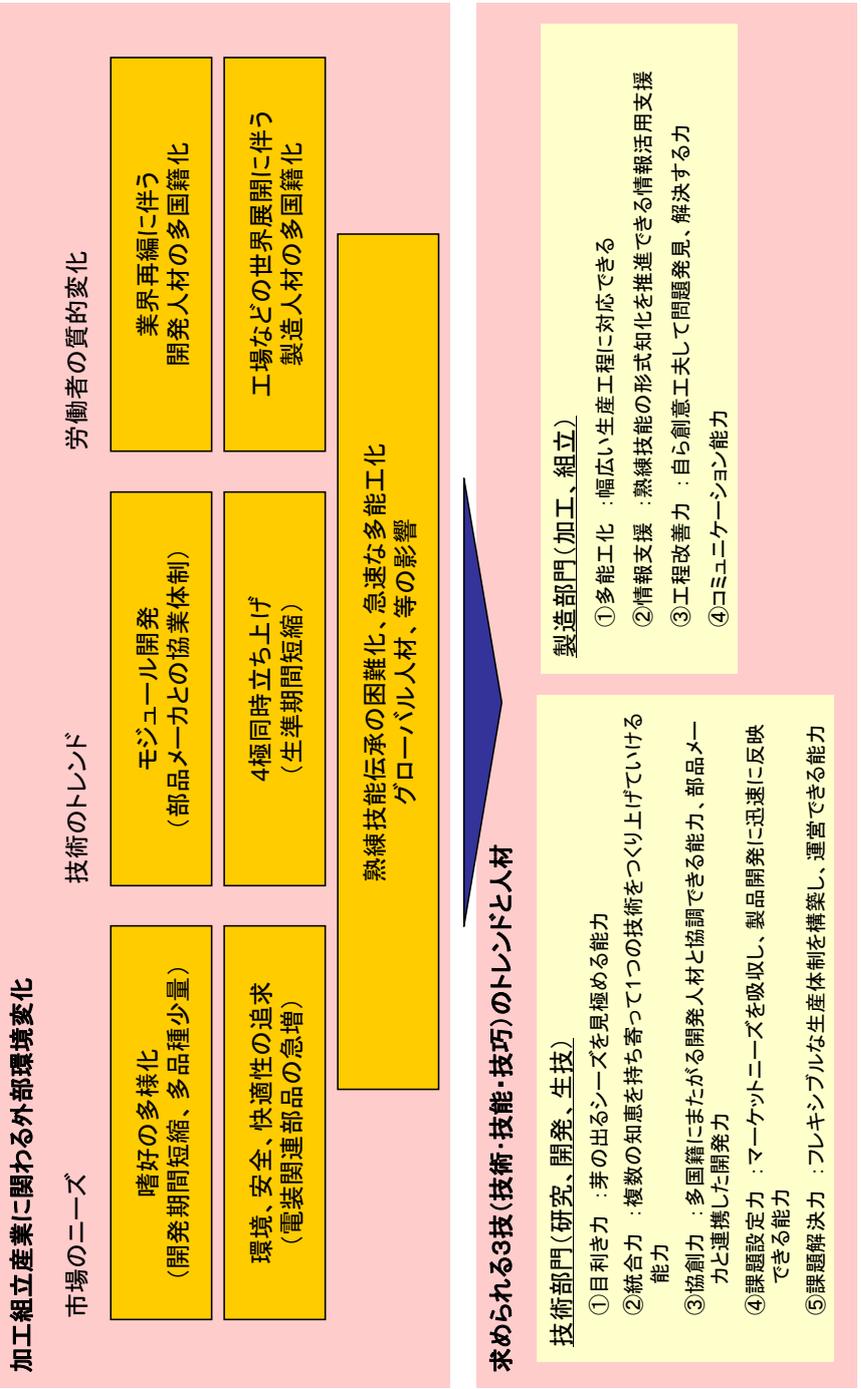
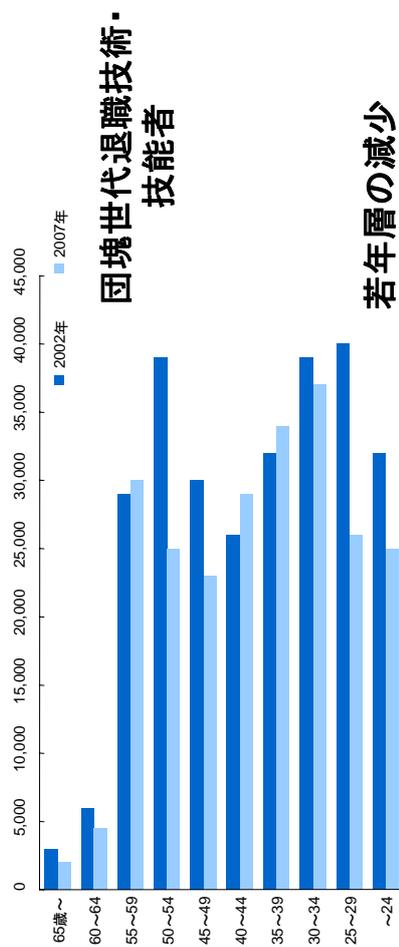


図3.2.1 我が国加工組立産業の環境変化と技術・人材ニーズ



出所) 厚生労働省「賃金構造基本統計調査」

図3.2.2 製造業における生産労働者の年代構成

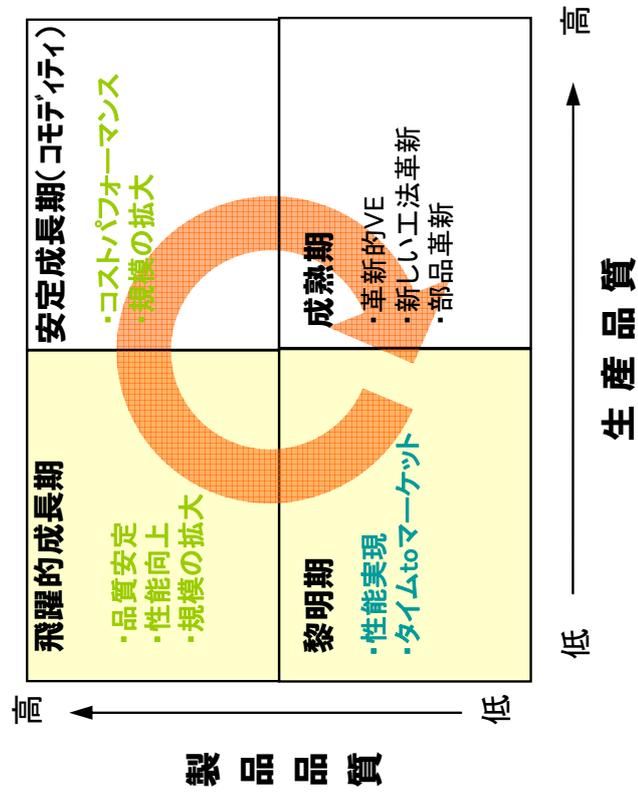


図3.2.3 市場ライフサイクルとモノ作りの役割

3. 3 ものづくりにおける技能伝承

(1) 背景

わが国では、昭和 22 年から昭和 24 年生まれのいわゆる「団塊の世代」は約 670 万人を数え、2007 年以降に定年退職の時期を迎える⁽¹⁾。「2007 年問題」とは、そういった高度成長を支えたベテラン人材の大量退職に伴って起こる諸問題の総称であり、特に製造業においては、高付加価値製品の設計・製造に必要なノウハウや技能を大量に失うことになり、国際競争力の低下が懸念されている。そのため、技能伝承が早急の課題として捉えられ各企業においては様々な取り組みが行われているが、技能・ノウハウ等の継承には時間がかかること、若年層の製造業離れによる人材確保の難しさ等から、技能伝承への危機意識が急速に高まっている。このような背景から近年「ものづくりの IT 化」が脚光を浴び、情報技術 (IT) の技能伝承支援への活用の重要性が認識されてきた。熟練技能すべては IT 化 (デジタル化) できないこと、技能は技術の進歩等によって進化することから、将来においても技能者が重要な役割を担うと認識されており⁽²⁾、技能をできる限りデジタル化するとともに、デジタル化した知識を技能の更なる高度化に結びつけていく支援技術が重要である。

これまでに技能伝承の支援技術に関して、様々な研究が行われ、幾つかの製品が市販されているが、真の意味での支援を実現するためには更に研究及び開発を進めなければならない技術課題が多い。以下では、それら技術課題及び重要技術について述べる。

(2) 技能伝承の支援技術の課題と重要技術

製造現場の技能は次の 2 つに分けて論じることが多い：

- ・器用さなど主として動作や五感に関係する技能
- ・構想力や判断など情報処理に関係する技能

新しい技術や製品開発を活発化することがものづくり力強化の基本であり、特に後者がこれに密接に関連していることから、その重要性が指摘されている⁽³⁾。構想力・判断に関する技能を中心とする技能獲得のプロセスは知識変換プロセスに対応付けることが可能である。知識変換プロセスのモデルの代表例として SECI モデル⁽⁴⁾が広く知られている。図 3.3.1 に示すように、共同化 (Socialization)、表出化 (Externalization)、連結化 (Combination)、内面化 (Internalization) という 4 つの知識変換プロセスを通して暗黙知 (形式言語で明示的に表しにくい知識) と形式知 (形式言語で表すことができる知識) との間の変換を行い、個人の知 (暗黙知) を組織の知に昇華していくモデルである。SECI とはそれら 4 つのプロセスの頭文字をとったものである。技能は暗黙知に、技術は形式知に対応付けることができ、組織知が形成された状態が、技能が伝承された状態と考えるこ

とができる。

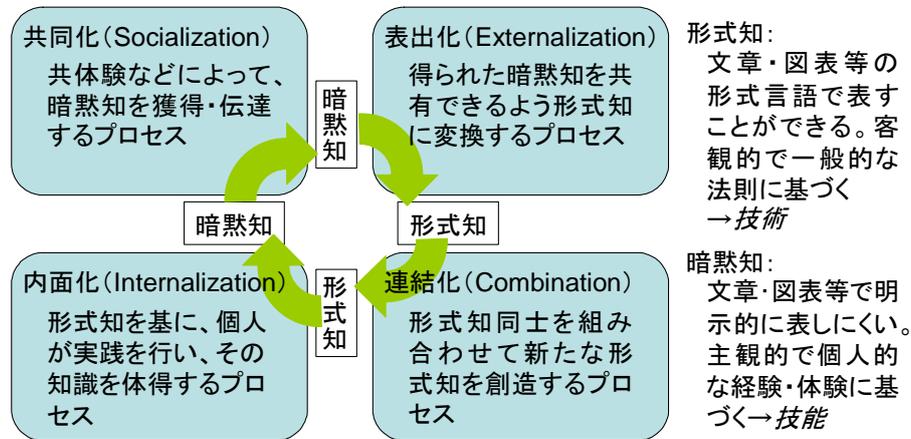


図 3.3.1 SECI モデル

このような観点から、技能伝承の支援技術として次の技術が重要である：

- ・ 知識変換プロセスを支援する情報技術 (IT ツール)

共同化、表出化、連結化、内面化の各プロセスの支援技術に関して、関連学会誌や製品を調査し、重要と思われる技術を下表にまとめた。はじめに、共同化は暗黙知を暗黙知として認識するプロセス、例えば OJT (On-the-Job Training) のように非熟練者が熟練技能者との共同体験により暗黙知 (技能) を認識するプロセスであり、両者のコミュニケーションを支援する技術が重要である。例えば、バーチャルリアリティを用いて技能者と仮想空間を共有することにより、技能獲得を支援する仕組みが検討されている⁽⁵⁾。表出化は暗黙知を形式言語で表現可能な形式知に変換するプロセスであり、技能 (暗黙知) を何らかの形で計測或いは入力する技術、記録するための統一フォーマットの策定、技能を表現するモデルの策定及びモデル化の技術、記録したデータを分析しモデルに当てはめるデジタル化の技術及び方法、それらを後のプロセスで活用を可能とするためにデータベース等に蓄積する技術等が重要である。表出化及びその支援を試みた例として、技能者の作成した金型の形状を測定し、その測定データを分析して CAD モデルを作成するデジタル化の試み⁽⁶⁾、切削工程における加工ノウハウを STEP (ISO10303) や CNC Data Model (ISO14649) を利用して構造化表現することの提案⁽⁷⁾、加工条件、加工事例等を整理・体系化しデータベース化する取り組み⁽⁸⁾、技能者の動作を動画、センサ情報等としてデジタル化する製品の開発⁽⁹⁾、動画マニュアルの作成支援を行う製品の開発⁽¹⁰⁾、金型製作に携わる多数の熟練技能者及び非熟練者の設計・製作手順を分析し標準的な設計フローとしてデジタル化する試み⁽¹¹⁾等を挙げることができる。このように技能のモデル化には様々な概念

及びアプローチがあるが、個別的な作業を対象にしたものが多く、汎用モデルの提示やモデル化のための一般的な方法論の導出には至っていないという指摘がある⁽¹²⁾。上述の技術の更なる高度化に加え、このような観点での取り組みも今後重要になる。連結化は表出化のプロセスで得た形式知を総合して新たな形式知を創造し獲得するプロセスである。このプロセスでは、支援技術として、デジタル化し蓄積した技能を総合的に分析して要求に対する何らかの提案を行う技術が重要である。例えば、加工条件、加工事例データベースの活用技術⁽⁸⁾、マルチメディア、バーチャルリアリティを用いて暗黙知と形式知を提示する技術⁽⁵⁾、作業員から取得した計測データと熟練技能者のデータとの差分を幾つかの指標で分析しグラフで提示する技術⁽⁹⁾、動画マニュアルにより技能を提示する技術⁽¹⁰⁾等を挙げることができる。こういった技術が製造現場でより高度に利用されるためには、技術の更なる高度化が重要であるのに加え、システムが提示する解の工学的な正当性の証明、熟練技能者の技能の工学的解明が必須である。その意味で、ますます CAE 及びシミュレーション技術の高度化・高精度化、加工現象の解明、技能者の意思決定プロセスの解明、動作と物理現象の関係の解明といった研究が重要になる。内面化は連結化で得られた形式知に基づいて実践を行い暗黙知を獲得するプロセスである。支援技術としては、バーチャルリアリティを用いた疑似体験を通して技能の獲得を支援する試み⁽⁶⁾がなされている。

表 3.3.1 重要技術（知識変換プロセスを支援する情報技術）

プロセス	技術	例	
共同化(暗黙知→暗黙知)	コミュニケーション支援等	バーチャルリアリティ等、[現場実践、職場内訓練(OJT)]	
表出化 (暗黙知→形式知)	計測・記録技術	センシング	画像、映像、測定データ
		ユーザインターフェイス	技術情報(文字情報)、図、数値データ
		記述手法	バイナリ、テキスト、XML
	抽出・整理・体系化技術	技能のモデル化・表現手法	思考モデル、力学モデル、NCデータ
		技能の分析・認識	画像処理(形状抽出・認識、異常・欠陥の識別)、文書解析
		データベース化	知識データベース、加工条件データベース、成功失敗事例データベース
連結化 (形式知→形式知)	分析・可視化技術	技能(モデル)の分析	知的処理的手法、データマイニング
		CAE、シミュレーション	加工現象(加工メカニズム)の解明
		技能の工学的解明	意思決定プロセス工学的解明、熟練者の動作・判断と物理現象との関係解明
		データベース活用	検索技術、事例提示、加工条件提示、勘所提示
		ユーザインターフェイス(解の提示)	グラフ、映像、画像、力感覚(バーチャルリアリティ)
内面化(形式知→暗黙知)	疑似体験支援等	バーチャルリアリティ等、[現場実践]	

・支援ツールの開発を支援するソフトウェア基盤技術

分野、企業ごとに様々な業務があり求められる技能も異なる。そのため、市販のツールをそのまま各企業の技能伝承支援に流用することは難しい。また、業務に直結していないためなかなか利用が進まない。そのため、カスタマイズ容易な技能伝承支援ツールを業務に直結した形で容易に構築できる技術が求められており、柔軟なソフトウェア開発技術、業務知識からソフトウェアを自動構築する技術が重要である。前者については、例えば、コンポーネント技術が有効であり、更なる高度化及びコンポーネントの整備が求められる。また、技能獲得を効率化するため、作業者の技能の質に応じて柔軟にソフトウェア（例えばCAMソフトウェア）の構成を変更する研究も行われている⁽¹³⁾。後者については、モデルを記述することでシステムを構築する技術の代表例としてOMGが提唱するMDA（Model Driven Architecture、モデル駆動開発）⁽¹⁴⁾がある。また、業務のプロセスを関連資料等とともにフローチャート形式で記述すると自動的にプログラムを生成する製品⁽¹⁵⁾、データベース設計や業務ロジック設計等からWebアプリケーションを自動的に生成する製品⁽¹⁶⁾等が既に市販されている。しかし、現段階ではソフトウェア開発者向けの技術と言うことができ、業務知識から支援ツールを容易に開発するためには更なる技術開発が必要である。また、技能伝承ツールの開発を対象としたものがほとんどない。更に、作成したソフトウェアが計算機の機種を問わず、半永久的に使用できることが求められており、ソフトウェアのクロスプラットフォーム性及び永続性を保証する表現手法が重要である。

表 3.3.2 重要技術（支援ツール開発のためのソフトウェア基盤技術）

技術(機能)	例
カスタマイズ機能	コンポーネント(ソフトウェア部品)指向開発、コンポーネント整備
業務知識のみでの開発技術	自動生成・合成(フローからアプリケーションを合成する技術)、フロー記述
クロスプラットフォーム、データ永続性	表現手法(XML利用等)

(3) 今後の展望

後述する「ロードマップ」では、以上の技術を「ノウハウのデジタル化」、「ノウハウの流出」、「ノウハウの伝承」という中分類で再構成し、実施予想時期を示した。その際、「ノウハウのデジタル化」には表出化のプロセスが、「ノウハウの伝承」には連結化及び内面化のプロセスが最も関連していると判断した。それぞれの技術が今後も重要であり更に高度化させていく必要があることはもちろんであるが、上述したように、特に、暗黙知の形式知

化における技能の分析及びモデル化手法、技能の工学的な解明（技能者の動作・判断と物理的現象との関係の解明）、業務に直結した技能伝承支援ツールを開発する技術が重要であり、熟練技能者から技能を継承可能な今後数年間のうちに早急に解決すべき課題として研究及び開発が求められる。

参考文献

- (1) 平成 16 年度ものづくり白書、
<http://www.meti.go.jp/press/20050603001/20050603001.html>
- (2) 中村肇：製造現場の技能伝承、精密工学会誌、Vol.68、No.10、(2002) pp.1273-1276
- (3) 小島俊雄、森和男：加工技能のデジタル化、精密工学会誌、Vol.68、No.10、(2002) pp.1267-1272
- (4) 野中郁次郎、竹内弘高：知識創造企業、東洋経済新報社、(1996)
- (5) 綿貫啓一：バーチャルリアリティ技術による匠の技の伝承と人材育成、精密工学会誌、Vol.72、No.1、(2006) pp.46-51
- (6) 坂元康泰：地域の技能継承とものづくりのデジタル化、精密工学会誌、Vol.72、No.1、(2006) pp.37-40
- (7) 坂本千秋：切削工程における技能の技術化、精密工学会誌、Vol.68、No.10、(2002) pp.1282-1286
- (8) 加工技術データベース、<http://www.monozukuri.org/db-dmrc/index.html>
- (9) スキルデジタル化、http://www.toshiba.co.jp/efort/product/skill/index_j.htm
- (10) i.ADiCA、<http://avasys.jp/hp/menu000000200/hpg000000150.htm>
- (11) プラスチック金型生産用知識ベース CAD/CAM システム、<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn040714-1/jn040714-1.html>
- (12) 日本機械学会編、機械工学便覧デザイン編β7 生産システム工学、(2005) pp.179-181
- (13) 奥井洋平、井原透：技能向上支援生産システムにおけるソフトウェア構成法、精密工学会誌、Vol.73、No.1、(2007) pp.161-165
- (14) MDA、<http://www.omg.org/mda/>
- (15) 指南車、<http://www.toshiba-tops.co.jp/solution/shinansha/index.html>
- (16) Web Performer、http://www.canon-soft.co.jp/product/web_performer/index.html

3. 4 日本の製造業の強み・弱み

世の中では、グローバル化や高度情報ネットワーク時代に進展に対して、我が国製造業でもさらに新しい強みを構築していかなければならないが、日本の製造業の国際的優位性・リスクの議論は十分であろうか？ 日本では、少子高齢化が進む中で国家の超赤字体質を改善する目途が立たないという危機にある。インドなど若年人口が増えて活力のある国が今後製造集積点になり、ノウハウ蓄積が進むであろう。日本の誇る技能的な優位性は危ういであろう。国家財政を考えれば国内に基盤を置くことが企業リスクであり、日本は結局国際連携の中で生き残るしかないように思われる。このような状況の中、業界の中にはうまく対処している分野もあるが、日本政府として行動したくても良い対策案がないというのが現状であろう（図 3.4.1）。

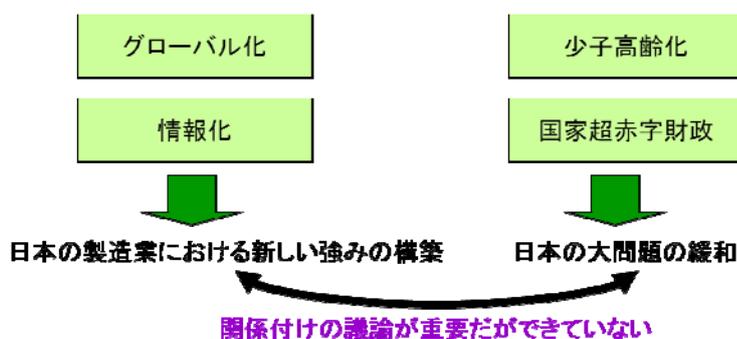


図 3.4.1 関係付けの議論

この原因の一つとして、日本の研究開発投資が、目の前の問題や目標の決まった技術開発は得意であるが、それを与える研究テーマがあまり評価されないということが原因として考えられる。ボトムアップの研究提案を実用的成果で評価すると、大学や学会では実験データ型研究の評価が良くなり、企業においても短期間に成果の出る研究に特化しがちになる。そうであるならば、国の技術戦略として、次のような提案型研究を強化することが求められる。

- 1) 図 3.4.1 の国家的課題を解決する提案を奨励する。
- 2) 新しいビジネス創出・運営のために、世の中の技術動向収集、海外市場の情報収集技術、プロジェクト運営技術の研究を奨励する。
- 3) 実証不可能型の研究たとえば将来予測型研究を奨励する。

我が国の生産システムで具体的に研究テーマを考えれば、

- ① 世界における地球環境・市場環境・労働環境・技術動向などの将来動向を考えて、日

本の製造業において今後やるべき技術分野とやらなくてもいい技術分野を分離・明示することを目的とする研究テーマ

- ② 世の中の新しい製造技術開発動向を収集して、ベンチマークを行い、その実用化可能性時期を推測する研究テーマ
- ③ BRICS の発展などによって国際企業のビジネスモデルの変化を予測する研究テーマ
- ④ 高度インターネット時代(ユビキタス時代)が製造業に及ぼす影響を推測する研究テーマ
- ⑤ 個別要素技術、ハードウェア技術ではなく、システム全体を俯瞰して対策を考える「システムデザイン・マネージメント技術、世界規模のものづくりビジネスエンジニアリング技術」に関する研究テーマ

日本製造業は、少子高齢化と BRICS など新興国の発展を考えれば国内での製造業の先行きは決して明るくない。それは、日本の技術戦略では生産設備や生産システムなどの狭い範囲で技術戦略を考えているために他ならない。しかし、ものづくりとは市場調査・商品企画から設計・生産企画・生産準備・製造・物流・販売までを含む統合的ビジネスであり、地球環境・社会構造・人間心理・企業活動を包括的に考慮したシナリオが求められる。幸い、現在日本の電機・自動車・工作機械などの業界では、世界展開によって世界的な視野と豊富な海外経験を持つ多くの人材が育っており、トップダウンの包括的シナリオを提案することができる素地があると思われる(図 3.4.2)。



図 3.4.2 日本の強み・弱み

3. 5 サステナビリティの観点から

これからの製造技術を考えた場合、もっとも大きな課題のひとつが持続可能性（サステナビリティ）の確保である。これには地球環境の持続可能性を確保するという点とわが国における製造業およびそれを支える企業の持続可能性を確保するという両方の観点から重要である。この二つの観点は決して矛盾するものではない。持続する地球環境なくしては製造業はおろか人間社会はありえないし、地球環境を持続させていくための技術や製品の多くの部分は製造業が提案し、又提供していくべきものである。

産業革命以来の化石エネルギーの消費をベースにした人間社会は二酸化炭素や他の地球温暖化物質を大気圏中に蓄積させた。この2月に発表された IPCC のレポートによれば、地球温暖化は人間活動の結果であることが明確に示され、その傾向はこのままではますます加速していくことが示唆されている。同時に化石エネルギー資源はこれまでは資源探査や採掘技術の発展により可採年数はほぼ安定していたが、中国やインドにおける経済の急速な拡大により石油及び天然ガス資源は今世紀中には枯渇し、豊富な埋蔵量を誇る石炭は二酸化炭素及び環境汚染物質の排出原単位が高いことから一次エネルギーの多様化と省エネルギー化をより一層推進する必要がある。金属資源についても事情は同じである、レアメタル、レアアース等のみならず銅などの金属資源についても限界が迫ってきている。鉄やアルミの様に無尽蔵に見える資源でも経済的、環境的に見て採掘可能なものには限界がある。また排水、排ガス等による環境汚染や有害物質を含む廃棄物の処分も国境を越えて問題化してきている。こうした環境分野の技術についてはわが国製造業は1970年代頃から世界に先駆けて技術開発や省エネ・環境調和型製品を開発してきている。今後はこうした分野における製造技術の開発をより一層進めていくとともに、そうした技術を先進国、発展途上国を問わず広く普及させていく必要がある。

わが国は、今後少子高齢化により大きな変革を余儀なくさせられ、製造業も労働力の減少と国内市場の縮小に直面する。一方中国等のアジア諸国の経済発展はめざましく、特に製造業の分野で追い上げは著しい。そればかりでなく最近では製造物責任や企業の社会的責任を重視する世論が高まってきている。こうした社会情勢の中でわが国製造業及び製造企業が持続していくためには、安全、安心の確保、技術の確実な伝承、教育、技術移転の適正化等を実現するための技術開発もまた重要である。

環境面及び社会面から見たサステナビリティを確保していくことはこれからの製造業にとって最大の課題であり、技術開発を行うについてはこうした観点からの評価が非常に重要である。またこうした分野でわが国が率先して新しい技術を提案し、それをグローバルスタンダードにしていくことはわが国及びわが国の製造業にとってもっとも望ましい行き

方であろう。

4. 生産システムに関する調査

4. 1 生産システムWGの考え方・進め方

(1) 状況

わが国では、製品製造を行っている企業が、個々の製品製造手法や生産技術を進化させてきた。今後も製造技術の発展に関して、企業は中心的な位置にあると思われる。

近年、企業は、コスト競争に勝ち抜くために製造現場の海外シフトを進めてきたが、すべてが成功しているとは言い難い状況である。このような環境の中で、製品製造を行なっている各企業は消費者ニーズ、安全・安心、高信頼性、高付加価値化、環境対応、グローバル生産体制等の問題点を乗り越えるため、様々な対応策を検討している。

本WGでは、まず、製造技術の動向調査のデータ等をもとに、現在の製造技術のキーワードをピックアップし分類した。次に、10年先を目処に製造技術あるいは製造体系がどのような様になっているかを分析することとした。

(2) 検討の対象について

本事業では、設計WGと生産システムWGとで検討を実施することとしたため、生産システムWGは、設計関係以外の生産システム全てが検討の対象となる。それらは、広範囲の産業、製品、製造技術等を含むこととなるため、今年度は、分類したキーワードの中から、数例の技術項目を選定し、それらについて、製造技術ロードマップ化の検討を行うこととした。

4. 2 わが国生産システムの問題点及び課題

4. 2. 1 人と設備と物のネットワーク

20 世紀の工場は自動化がキーワードであり、目標は無人工場であった。そして大量生産によるコストダウンをポリシーとしていた。しかし、21 世紀は個人各様の好みをベースとする多品種少量生産へと変わってきた。基本は受注生産である。また、無人工場は国内立地の必然性が薄い。日本人の技能や技術を活かすことが国内に工場をおく理由であれば、それは無人工場ではなく、人を活かした工場でなければいけない⁽¹⁾。

工場内には設備と人だけでなく、原材料、中間品、製品もある。このような物も取り入れた設備と人と物の情報ネットワーク構築（図 4.2.1）が 21 世紀の工場には必須である。このようなネットワークを構築する際のキーテクノロジーの一つが電子タグに代表される知能化タグである。人、物、設備に知能化タグを付けることで、その位置や可動情報を見える化できる。

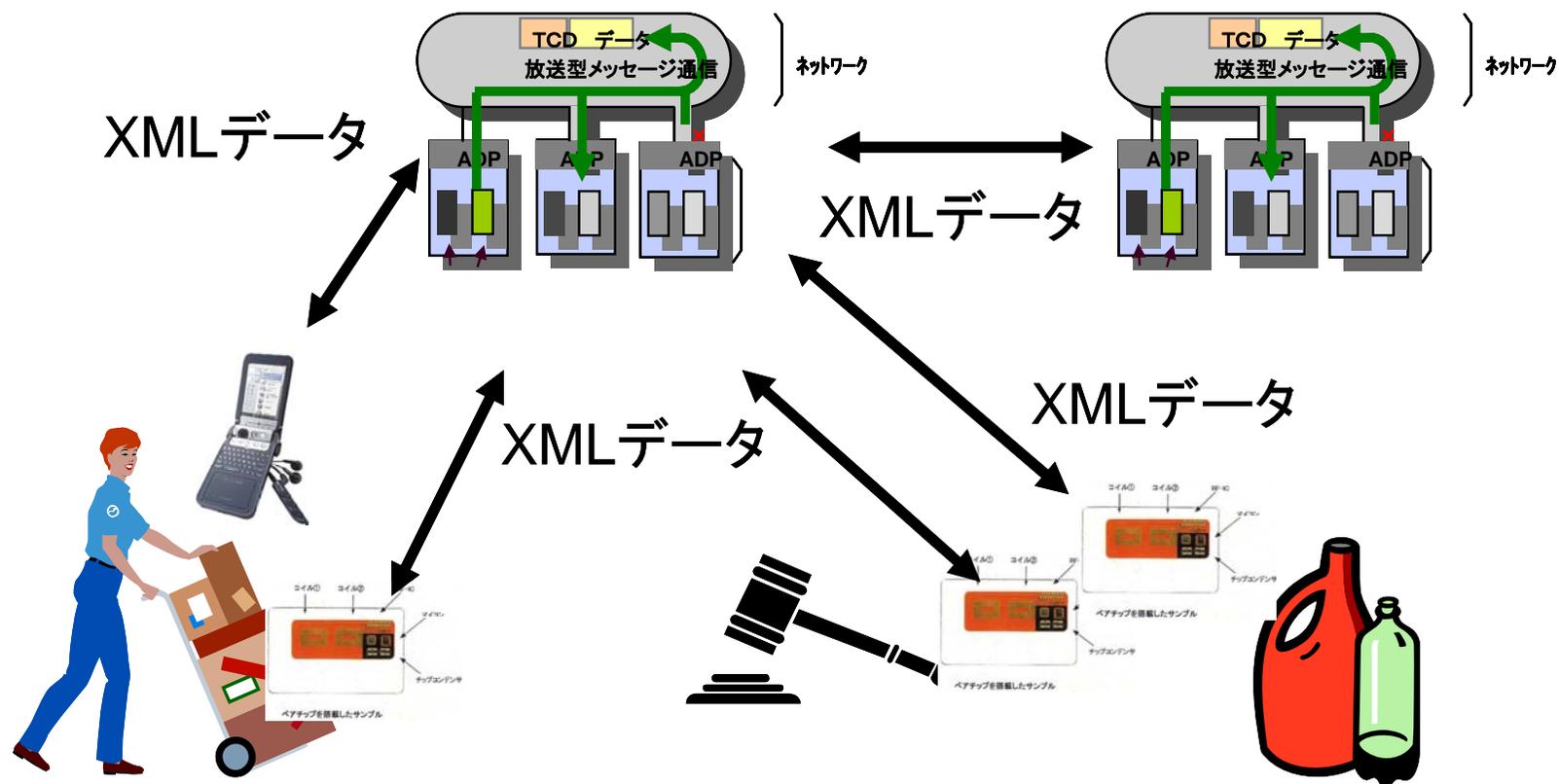
もともと、見える化は最初のステップであり、このような情報を有機的に利用することで、生産の効率化や従業員の安全性や快適性の向上、環境負荷の低減などの解決手段につながる。もっとも、人、物、設備という違いに加えて可動する場所や企業の違いなどを吸収する有機的な利用は難しい。そのためには、情報をインターネット標準である XML 形式でやりとりをすることが不可欠である。この標準を用いることでデータを提供する機器、データを伝送する機器、データを処理する機器などの間でシームレスにデータを交換することが可能である。もちろん、交換するデータはセキュリティにも配慮が必要である。もっとも、XML は項目別にセキュリティレベルを設定する国際標準も確立しており、その意味でもデータの流通性とセキュリティの両立が行いやすい。

このような情報面のセキュリティ確保に XML を始めとするインターネット技術の向上利用は有効であるが、内部の人間が機密を漏洩すれば高度な認証システムやゲートウェイも意味をなさない。その意味で、技術面だけでなく技術者の地位向上が日本の競争力の確立と継承には不可欠である。

わが国は技術立国を標榜している。素材、エネルギー、組み立てなどの幅広い技術者が連携して貿易黒字の大半を稼ぎ出している。このビジネスモデルを遂行していくなら、製造業に関わる技術者の地位向上を図るべきである⁽²⁾。

参考文献

- (1)新誠一：人と物と機械のネットワークを目指して、MSTC, no. 66, pp. 2-4 (2005)
- (2)新誠一：エンジニアと資格、計測と制御, vol.46, no.5 (2007) 発刊予定



人と物と機械のネットワーク化

図 4.2.1 人と物と機械のネットワーク

4. 2. 2 生産システムに係わる製造業の課題

わが国製造業は、戦後最大の景気拡大期を迎えようとしている。しかし、一方で、これまで、オイルショック、バブル経済等、幾度も経済危機を経験しており、今後の経済発展を堅調かつ継続的なものにするためには、中長期的視点での基本的課題への備えが必要である。特に、わが国の生産システムは、これまで製造業の発展を支えてきた実績があり、生産システムの効果的な開発と適用が今後の経済効果へ及ぼす影響は極めて大きいと考えられる。生産システムに関連した、わが国製造業を取り巻く主な環境および課題として、以下が挙げられる。

- ① 先進各国間の競争と低賃金労働国の追い上げに打ち勝つ差別化
- ② 労働力の構造変化への対応
- ③ 地球環境への配慮など社会的責任や規制への対処

先進各国間の競争や低賃金労働国の追い上げに打ち勝つには、品質、コストおよび納期においての継続的な差別化が求められる。先進各国間の差別化では、主に最先端の製造固有技術や生産方式を如何に駆使するかが求められることになる。製造固有技術については、様々な分野で個々の開発が望まれるが、単に生産工程での改良にとどまらず前工程である製品設計や後工程の品質保証、メンテナンスなどと相互作用を及ぼすことで、顧客満足度や企業利益を向上させる優れた製品あるいはサービスを生み出すことが重要となる。生産方式に関しては、それぞれの現場で求められる固有のノウハウに加えて、ITを如何に効果的に活用するかが一つの重要な方向であることは否定できない。特に、設計から生産へ移る過程で、生産準備におけるIT活用の遅れは課題である。また、顧客ニーズの多様化に伴い、変種変量生産への対応が求められ、ライン生産とセル生産の最適化などが課題となっている。例えば、セル生産については、多能工化や多大な教育訓練時間が必要であること、ミスに気がつきにくいこと、設備投資が膨らむこと、大型製品を取り扱いにくいことなどが課題となっており、世界最先端といわれるわが国の生産方式についてもまだ多くの課題を抱えていることがわかる。

一方、低賃金労働国の追い上げに打ち勝つには、大きく2つの方向性がある。1つは低賃金労働者による生産コストに打ち勝つべく自動化率を向上して、高い生産効率と高品質、短納期を実現して差別化する方向で、他方は高い賃金の労働者を抱えながらも、低コスト、短納期で生産できる生産システムを構築する方向である。自動化率を向上するためには、そのための設計変更や低コストの自動装置や汎用性の高いロボット開発などが実用化の鍵となる。

労働力の構造変化については様々な課題があげられるが、直面しているのは団塊の世代

が大量に退職して、熟練技術者や熟練技能者が一挙に不足する問題がある。企業によっては雇用延長やOBの採用などの対策を講じているところもあるが、労働者の高齢化は、生産現場において高齢者専用の支援設備を必要とし、一方では高齢者と年代差のある技術者、技能者への技術、技能伝承の課題がある。また、労働力不足の解消などを目的として、外国人労働者を採用して高能率で働いてもらう方法や設備・技術が求められる。生産量の変動吸収においては、労働者への教育方法や生産ラインで直接に作業援助できる生産システムなどの構築が求められる。一方で、これら労働者に関する対処の他、ロボットなどを用いた生産の自動化率向上や完全自動化といった視点での対策も考慮する必要がある。

地球環境や安全・安心社会への配慮など社会的責任の達成のためには、産官学連携による啓蒙活動や企業風土の改革は勿論、そのための循環型製造技術の開発への投資を怠ってはならない。また、安全・安心社会実現のためには、そのための検査技術や信頼性向上技術の開発はもちろん、第三者的に評価できる品質管理システムなどの構築も重要である。各種の規制については、その規制を遵守するための生産システムが求められるのは当然であるが、事前に規制レベルを予測した準備（開発）は、企業間の差別化に繋がる。

以上、生産システムに関連した主な課題の概要についてあげたが、これらの技術の開発や普及において、産業分野、業種および企業規模によって必要となる具体的な技術や時期は大きく異なる。ある特定の産業分野・業種、規模の企業が重要と考える開発課題であっても、他の分野・業種や、企業規模が異なる場合には、必要となる技術の種類や時期が異なる。例えば、生産形態一つをとっても、分野・業種によって、見込み生産、個別受注生産、繰り返し受注生産、受注組立生産など、適切な生産形態は様々で、多様な個々の生産形態に合わせた生産システムの構築が必要である。また、CAD・CAM・CAEをコンカレントに行う3次元統合システム等については、開発に関心が持たれて実用化が始まったのは10年以上も前である。しかし、実産業での普及率で見ると、3次元CADだけの利用でさえ、未だ2次元CADが多く使われているのが実態で、中小企業まで含めたわが国製造業全体での適用状況たるや未だ途についたばかりといっても過言ではない。先端技術は、一般に、ハイテクベンチャー、大企業、中小企業といった順番で普及が進むので、研究開発動向からだけの視点では、わが国に必要な生産システムの動向を見誤る恐れがある。したがって、産業界での課題や必要な技術・システムを検討する際には、わが国製造業の個々の産業分野・業種や企業規模別に、どのように普及しているかという現状認識と、今後、どのように展開、普及させていくかといった、産業分野・業種および企業規模をパラメータとした戦略が極めて重要であると考えられる。

4. 2. 3 レーザ加工技術の課題及び今後の展望

(1) 二つのレーザ加工分野における加工用レーザの歩み

約 50 年前にレーザ（メーザ）が発明された。出力の増大とともにレーザを加工に使うとする試みが約 40 年前に始まった。（図 1）そこで問題となったのが熱伝導である。加工対象物が金属の場合、レーザ光の電界により自由電子が振動し、それが格子振動を引き起こす。ここまではシナリオどおりである。次の段階では溶融・蒸発が生じ加工が成立するはずであった。しかしながら溶融・蒸発は起こらなかった。レーザ照射領域外へと格子振動（熱）が伝わってしまったからである。つまり、熱が周囲に逃げてしまい加工部が融点に達しなかったのである。ここで二つの考え方が登場した。熱は逃げて良い。逃げる熱よりも大量のエネルギーを投入し、溶融・蒸発現象をもたらす。もう一つの考え方は、熱が逃げる前、つまり、非常に短い時間内に大量のエネルギーを投入する。その結果、熱が逃げる前に瞬間的溶融蒸発現象（アブレーション）が生じる。前者は CW（連続波）レーザ加工分野の誕生であり、後者がパルスレーザ加工分野の誕生である。別の言い方をすれば、前者が高エネルギー密度熱源加工（熱加工）分野であり、後者がアブレーション加工分野である。CW レーザ加工分野は溶接・切断という目的がはっきりとしていたので、産業界がレーザの大システム化を推進した。いち早く登場したのが、加工用大出力 CO₂ レーザであった。次に YAG レーザが登場した。YAG レーザの波長が 1.06 μm であること

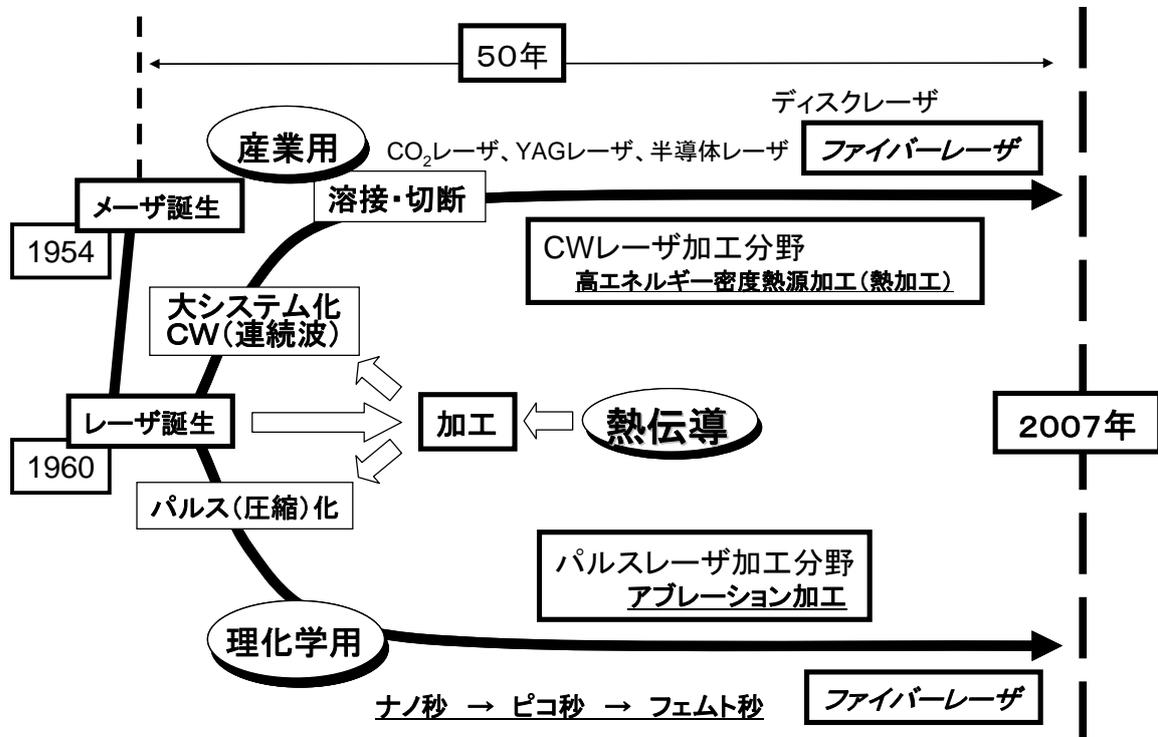


図 4. 2. 1. 1 CWレーザ加工分野及びパルスレーザ加工分野における加工用レーザの歩み

からファイバー伝送が可能となり、レーザーシステム室と加工室を分けることができ、さらにロボットアームへの装着が容易になった。半導体レーザーはエミッターからの出力が増大するとともにスタッキング技術が向上し、大出力化へと進んだ。これにともない半導体レーザー励起 YAG レーザと直接加工を目的とした半導体レーザーシステムが登場した。そして、その半導体レーザーを基幹技術とした加工用ディスクレーザーおよびファイバーレーザーの誕生を迎えることとなる。これらの流れは、前述したように産業界において溶接・切断という明確な目的の下、進められてきた。一方のパルスレーザー加工分野では、アブレーション現象を利用した応用研究が、大学・研究機関を中心に進められた。パルス幅について言うと Q スイッチ技術の開発からナノ秒が、モードロックおよびチャープドパルス増幅技術の開発からパルス幅 100 fs、繰り返し 1 kHz、平均出力 1 W クラスのフェムト秒レーザーが市販されるまでになった。フェムト秒レーザーについては、発振器部及び増幅器部の殆どがファイバーから構成されるフェムト秒ファイバーレーザーも市販されている。理化学用レーザーとして考えられてきたパルスレーザーではあるが、近年、産業用加工機への導入を目指した研究開発（例えば、経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業「超短パルスレーザーを用いた電子部品用微細トリミング金型の開発、H. 18-H. 19」）が進められている。

（2）ファイバーレーザー

出力、波長及びビーム径が同じファイバーレーザーと従来のレーザーを同じ焦点距離のレンズでそれぞれ集光する場合、ファイバーレーザーの集光スポット径の方が小さい。一般的な言葉で言うと「よく絞れる」ということである。従来のレーザーでも集光性を悪くする種々の要因を取り除けば集光スポット径を小さくできた。しかしながら、レーザー本体から出力されるレーザーエネルギーの損失（ロス）をとまなうことになる。ファイバーレーザーは、集光性を悪くする要因が極めて少ないので、出力されるレーザーエネルギーのロスなく理論値に近い集光スポット径を実現することができる。高集光性と高出力（製品化されている CW レーザの最高出力：20kW）を同時に達成していること、従来レーザーに比べコンパクトであること、高安定性及び高操作性を有していることが現在製品化されているファイバーレーザーの特長である。信頼性については、実際に使用しているユーザー側からの評価が明らかになってくると予想される。

ファイバーレーザーが登場する以前の CW レーザは、様々な局面で加工を制限してきたと言える。レーザー主導型（先導型）、このレーザーで何ができるかというアプローチが主であった。本来の加工は、加工があって道具（ツール）がある。高品質なツールは、加工側からの要求に答えることができる。レーザーもツールの一つである。ファイバーレーザーは、上述したように高出力、高集光性、高安定性及び高操作性を同時に満たす。「本来の加工」からの要求に答えることのできるレーザー、つまり、高品質化したレーザーの第一弾として登場したのがファイバーレーザーである。

(3) レーザ加工技術が有する課題

ツールと加工技術は、両輪で走らせ（開発し）なければならない。その観点から考えると、現在特筆しなければならないことは、高品質レーザであるファイバーレーザの開発で欧米に先行されたことである。IPG フォトニクス社は、最高出力 20kW の CW ファイバーレーザを製品化している。残念ながら現在、同様な仕様の日本メーカー製のレーザは存在しない。加工機製造メーカーやユーザー側から見れば高品質な加工機が実現すればインストールされているレーザが日本メーカー製であろうが外国メーカー製であろうが関係ないという声もある。その声に対する反論としてまず言えることは、修理やメンテナンスのことを考えればレーザは日本メーカー製が良いということ。次に言えることは、さらに重要なことで、国内のレーザ開発製造メーカー、加工機製造メーカー及びユーザーが垂直につながることによって生じる相互作用がそれぞれが有する技術力の持続的発展を促すということである。よって日本メーカーの高品質レーザ開発力の増強が課題として浮かび上がる。

別の課題も見えてきている。図 4.2.1.1 にも示したように CW レーザとパルスレーザの二つの加工分野があり、それぞれのレーザ加工は異なる学会によって議論されてきた。CW レーザ加工（熱加工）は、主に溶接学会やレーザ熱加工研究会（現高温学会内レーザ加工学会）、パルスレーザ加工（アブレーション加工）は、主に応用物理学会やレーザー学会という構図である。溶接学会に所属、出席する研究者で応用物理学会に所属、出席する研究者は非常に少ない。ファイバーレーザ開発が欧米のレーザー開発製造メーカーに先行された原因の一つが二つのレーザ加工分野間の交流・情報交換が少ないことにあったとすると今後は何らかの対策を講じなければならない。

(4) レーザ加工技術の今後の展望 —高品質レーザ開発—

欧米のレーザ開発製造メーカーによるファイバーレーザ開発は、溶接・切断に使用されている従来レーザとの置き換えを目的として推進されてきたと考えられる。リモート高速溶接への適用も想定範囲内であろう。こういう状況の中、国内のレーザ開発製造メーカーは、それぞれの特徴を生かしたファイバーレーザ開発に取り組んでいる。出力及び集光性を欧米メーカー製のファイバーレーザ並みにすることも重要であるが、高ピーク出力化に注力し欧米メーカーには無いタイプの高品質レーザ開発を進めるメーカーもある。これらの開発を加速させるためには、研究者を含むユーザー側からの新加工領域の提案とともに、国内のレーザ開発製造メーカー、加工機メーカー及びユーザーを強固に結びつける起爆剤的資金（プロジェクト）が必要である。

4. 2. 4 自動車産業におけるモノづくり革新の取り組み(グローバル生産)

(1) 始めに

日本の現代史の中で、日本経済の基幹産業と言うべき製造業のチャンピオンは時代の流れの中で常にその座を交代させて来た。その「勝ち組」に入っている自動車産業はその歴史を振り返ると、マクロ的には右肩上がりの成長を遂げているものの、その過程では客観情勢の変化に対応出来ずダウントレンドに見舞われたことも1度や2度では無かったと言える。これらは、この業界の先輩たちの血のにじむような努力があつて始めて克服できたのであり、我々はその松明を受け継ぎ、次世代に伝えることが必要である。ここでは、主として最近の客観情勢の変化に対し、モノづくりの構造変化を論じたもので、特に自動車産業のモノづくり革新の事例を以下に紹介するものである。

(2) 現状認識と背景、自動車生産の振り返り

日本の自動車業界は1960年代以降、高い生産性や、高品質を武器に、2回のオイルショックを乗り越え、マクロ的には右肩上がりの成長を続けて来た。

海外輸出については、増加の一途を辿った時期もあるが、80年代は停滞し、90年代の早い時期に海外生産台数の方が海外輸出台数を超えてしまった。

これらは、1985年のプラザ合意以降の急激な円高や、日米貿易摩擦に端を発した日米構造協議の影響を強く受けたものである。80年代後半より日本の自動車業界は北米を中心とした海外生産に急激にシフトしていくようになった。その結果、日本国内生産の空洞化が生じて来た。

(3) バブルとそれ以降の取り組み

80年代の末期に所謂経済のバブル現象が生じ、自動車業界も多かれ少なかれその波に無関係ではあり得なかった。皆ある意味の「造れば売れる」経験をし、プロダクトアウトな自動車の開発や生産がまかり通った時代が短いながらもあった。

それが終わった90年代初頭に業界全体として危機が訪れた。その危機の原因は、「今までの成功体験に固執した車づくりでお客様にとっては魅力が乏しい商品の発信」や「組織や人制度の疲労の蔓延」によるものであった。

改めてお客様視点での車の開発が必要であるとの認識から、従来の技術の押し売り開発から、市場や、ユーザーの声を聞き、その期待を上回る価値をどのように商品として具体化していくかを、総合的に企画・検討するタスクを制度化した会社が多い。これは、すべての商品開発の初期段階に、販売、生産、開発が一体となったタスクチームを編成し、商

品の基本コンセプトを作り上げる活動である。各社で時期は異なるが、このような活動によって、改革の成果が定着して行ったのがこの時期といえる。

(4) グローバル展開への取り組み

90年代以降のグローバルな拡大期に移行する段階でのモノづくりの変化について考えることにする。

現代は生産のグローバル化と同時に、情報のグローバル化が進んだ時期でもある。これにより、顧客の情報化、価値の多様化がますます加速している時代である。もはや車の旬の時期は、わずか数ヶ月で、直に衰退期に移行して行く。5年サイクルの車でも、特殊なヒット車は別にして、殆どは発売後6ヶ月で旬な時期を過ぎ、衰退期に移行して行く。

また、インターネットの発達で、日本で新型車が発表されると、中国や、アメリカではすぐに買い控えがおこる状況も出て来ている。そうした、需要の変化や、情報スピードに対応するために、世界的規模で製品の同時供給を実現するために、同時立ち上がりが必要とされてきた。世界にはロックダウン中心の少量生産の工場も未だ多いが、その様な同時立ち上げが求められる場所では、進展国を含む世界の工場の同一体質化を進めることが行われている。

具体的に述べると、機種開発段階では、どの生産ラインでも同じ加工基準を持つ、共通プラットフォーム化することである。

生産工場の段階では、

- ・量産工場では、従来溶接設備等での設備の汎用化で機種ごとの互換性を持たせる事が必要で、多品種の大量生産が加工になった。又、これにより専用投資額を大幅に低減して来ている。
- ・塗装工場では、品質向上や特に環境に対するサウテナビリティを考慮した水性塗装化等が進められて来ている。

以上のような考え方をベースに機種開発段階から量産まで、或はボディー組み立てから完成車組立までの全ての工程に対する、スタンダードを定め、これをグローバル展開し、世界生産拠点の同一体質化を目指している事が日本の自動車企業の世界展開の進展を支えている。

(5) モノづくりの新しいQCDの確立に向けて

現代のモノづくりは、過去の種々の制約条件や、部分最適、コスト優先のモノづくりを

追及したために、結果として、サプライチェーンの巨大化を招いてしまった。又その体質が、場合によっては、そのまま世界に移されるという、危機的状況も時々見られる。

これからは、品質視点で、ものづくりの原点を再検証し、最新技術で、プロセス改革、事業改革の可能性を極めることが必要とされている。

即ち、サプライチェーンの再構築から品質機能の自己完結を目指し、部品統合・機能集約・新部品構造への取り組み等を強力に推進してゆかなければならない。これらの努力の一環として、サプライヤーである中堅・中小企業との従来の枠組みを超えた、新しい連携を目指して行くことも出来るであろうと考える。

(6) 纏め

自動車産業のサプライチェーン・バリューチェーンを考える時、自社内の努力には限界があり、サプライヤーの寄与は非常に大きいし、今後もこの重要性をいくら強調してもしすぎることは無いと考える。出来得れば、以上述べた志や方向性を共有しながら、サプライヤーとの新しいモノづくり共創の関係を形作ることこそ今求められている重要ポイントであると考えている。

この事が成し遂げられれば、巷間で良く言われる産業の「勝ち組・負け組」という決め付けのステレオタイプな議論のみを続けるのはそろそろ卒業して、寧ろ「勝ち組」の高い生産性を日本の中で余すことなく広げ、日本全体の生産性を底上げして、製造業の産業としての空洞化を防ぐという愁眉の課題に答える一助になると信じている。

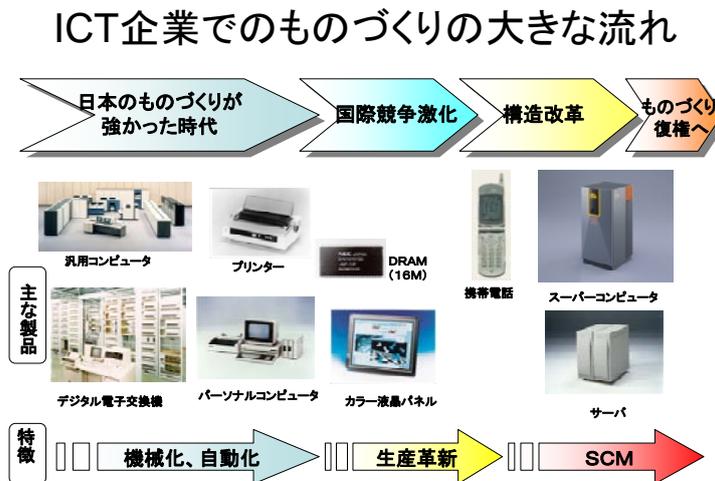
次に技術開発について言えば、自動車産業には将来の環境サステナビリティから燃料電池開発等の様に量産化のためにはブレークスルー的発明・発見が必要とされる技術課題も広範に存在し、それへの経営資源を継続的に供給する事も勿論大切である。しかし、日本の強みとなっているグローバル展開を支えている継続的改善・改良に基づく「擦り合わせ技術」の継承・進化こそ忘れてはならないポイントであると考えている。

4. 2. 5 ICT 企業における生産システムの現状と課題

(注) ICT : Information & Communication Technology

(1) ICT 業界における生産システムの変遷

ICT 企業におけるものづくり、生産システムを歴史的な流れに沿って見みると、各社とも多少の差異はあるものの、概ね (2) ~ (4) 項で述べるような経緯をたどってきたのではなかろうか。もちろんこれらは日本の全産業にわたって言えることではなく、筆者が見聞きした ICT 業界の事例から述べていることをお断りしておきたい。



(図 4.2.2) ICT 業界のものづくりの流れ

ICT 企業におけるものづくりを考える場合、大きくは装置組立型の生産システムと半導体・電子デバイスのようなプロセス型の生産に大別される。各々には固有の特性があり、例えば前者の装置組立型ではプリント基板組立、装置組立、検査調整といった生産プロセスそのものは大きく変わらないものの、装置の種類はキャリアの基地局に収める大きな架構の装置から携帯電話のような高密度実装の装置まで、かなり幅広い。一方プロセス型では設備産業的な要素が強く、また半導体などでは成膜・露光・現像といった工程を繰り返す多重ループ型の生産プロセスになっている。本稿では装置組立型を中心に述べる。

(2) 日本のものづくりが強かった時代

70年代・80年代は日本の製造業の強さが謳われ、例えば品質管理の側面でも欧米の統計的品質管理に対して、ZD 運動のようなゼロディフェクトを目指すといった日本の取り組みは圧倒的な競争力を生み、結果として半導体貿易摩擦などを引き起こした。この当時の生産システムの特徴を挙げれば、生産量拡大、コストダウン、品質安定化などを狙いとした機械化、自動化が進められてきたことであろう。自動化設備、自動化ライン、無人

化への取り組み、ロボットを活用したフレキシブル生産ラインなど、各社の当時の取り組み事例は枚挙にいとまがないほどである。

(3) 国際競争の激化と構造改革の時代

90年代から2000年代にかけては、国際競争の激化、特に東南アジア、中国などの生産拠点としての台頭により、日本の各企業も海外進出を余儀なくされた。パソコンにおいては台湾メーカーが世界市場の6～7割を実質生産していた時期もある。こうした背景を元に各社ともアジア・中国への生産移転を進めると共に、社内組織の構造改革に取り組み、事業領域の選択と集中、終身雇用制の放棄などに取り組んできた。生産システムの側面で見れば、国内工場の競争力を上げるために、自動車業界では一般的になっていたトヨタ生産方式をベースとした生産革新をICT企業各社が導入を始めたのがこの頃である。製造プロセス全体にプル型の流れを作ると同時に、これまでのやや行き過ぎ感のあった自動化から、人を中心とした生産プロセス作りを手がけてきて、セル生産方式や一人完結生産方式などの導入により一人当たり生産性を1.5倍～数倍に改善した。機種切り替えに大きな手間を要する自動化ラインや自動倉庫などが撤去される事例が相次いだのもこの頃である。

(4) ものづくりの復権に向けて

2000年以降、ICT企業の特徴としてはソリューションビジネスへの傾倒が上げられよう。米国IBM社の成功に学ぼうという動きは日本のICT企業でも顕著であった。とは言え、ソリューションビジネスの中でのハードウェア製品の位置づけが見直される機運も起こっている。世界の工場としての中国の存在感が増す中で、日本のものづくりの復権に向けた動きがICT企業の中でも進められてきている。生産システムの側面から見た場合、製造そのものの強みを、お客様に製品を届けるまでの全プロセスに拡大しようというサプライチェーン・マネジメント強化の取り組みが特徴的なキーワードになろう。もともと自動車業界では先行しているものの、ICT企業の特徴として、単一製品のデリバリーではなく、例えば基幹システムとしてのサーバー、ストレージ製品、端末としてのパソコン、プリンタ、更には通信機器としてのルーター、キーテレフォンなど数多くの製品をシステムアップして届けなければならない。こうした品揃え機能、それに伴う生産のしくみなど、単純に自動車業界の方式を真似ることでは成り立たないという課題がある。

(5) これからの生産システムを考えるキーワード

これからの生産システムを考えていく上で重要なキーワードは、まずは製品の変化であ

る。製品の変化は、技術の進歩によるものと、顧客の多様なニーズに応えるための取り組みの2つの側面から見る事が出来る。技術の進歩という面では小型化、薄型化、軽量化であったり、構成部品の大きな変化による性能の格段の向上が上げられる。携帯型の音楽プレイヤーでは記録媒体がカセットテープ、CD、MD、ハードディスク、半導体メモリへと進化し、それに伴い記憶容量、利便性が大幅に向上している。顧客ニーズ対応の例としては、携帯電話の多機能化などが挙げられよう。通話機器としての携帯電話に、メール受発信機能が付き、更には音楽をダウンロードし携帯プレイヤーとして使ったり、お財布携帯などと呼ばれる電子マネー機能を備えてきている。

もう一つのキーワードは、ものづくりを取り巻く環境・技術の変化である。顧客ニーズの多様化は従来以上にものづくりにも変化を与え、グローバルベースで、お客様のニーズの変化に即時に対応できるサプライチェーンが要求される。多品種少量のみならず売上の伸びている製品はより多く、そうでない製品は必要最小限しか作らないといった変種変量生産への取り組みが不可欠となっている。また最近では無線タグ（RFID、ICタグ）といった新たなデバイスの普及により、製品の生い立ちから流通後の状態管理までみるトレーサビリティが重要になってきている。こうした技術面での変化もものづくりに大きな変化をもたらして来ている。

（6）これからのICT業界の生産システムの課題

今後の生産システムを考える場合、まず技術進歩への対応が課題として挙げられる。製品の変化を支える加工技術の進歩は著しく、最近ではMEMSやナノオーダーの加工まで広がっている。こうした最先端技術で世界をリードするためには人材育成を含め、国として総合的な取り組みをする必要がある。工学系の学生が減少し、新卒者の製造業への就業が年々減る中で、技術開発を支える人材の確保は喫緊の課題でもある。また、ものづくりを支える生産技術、品質技術者の不足も深刻な事態となっている。長年にわたり生産技術を内部に抱え込む努力をしてきた企業もあるが、知る限りでは構造改革の時代に、多くの企業で人材の流出が起こっている。また日本のお家芸だった品質管理にしても、現在では多くの問題を引き起こし、連日のように新聞を賑わしている。こうした失われた技術・技能を、集中と選択を図った上で、いかに取り戻し、強化するかが大きな鍵と言えよう。

また製品トレーサビリティのような問題に対しては、技術的な課題のみならず、企業、業界を跨った取り組みが必要という課題を抱えている。複数の業界を超えた利害調整は一筋縄ではいかず、今後の国家レベルでの検討が必要になると思われる。

4. 3 生産システムと技術戦略マップ

製造技術の戦略はほとんど取り上げられないことがないが、今後、我が国が進むべき方向を考える手がかりになり、技術全体を俯瞰できる技術ロードマップは、技術の展開とその導入・実施の時期を見据えるためにも不可欠である。6章に示される製造技術の動向調査によれば、ITを核として高度な管理・生産システムやロボットのなどの先駆的自動化技術、新しい加工技術、さらには環境や社会情勢を踏まえた取組み等はまたその緒についたばかりで、本格的な取組みに向けての努力が求められている。

製造技術ロードマップを、設計システムと生産システムに分けて考えるという方針の基に、ここでは生産システムを取り上げるが、生産システムの捉え方と技術マップの対応、さらには技術マップがどう役立つか、具体的には技術マップから技術展開への指針をどう得るか、を考える一助になることを期待するものである。

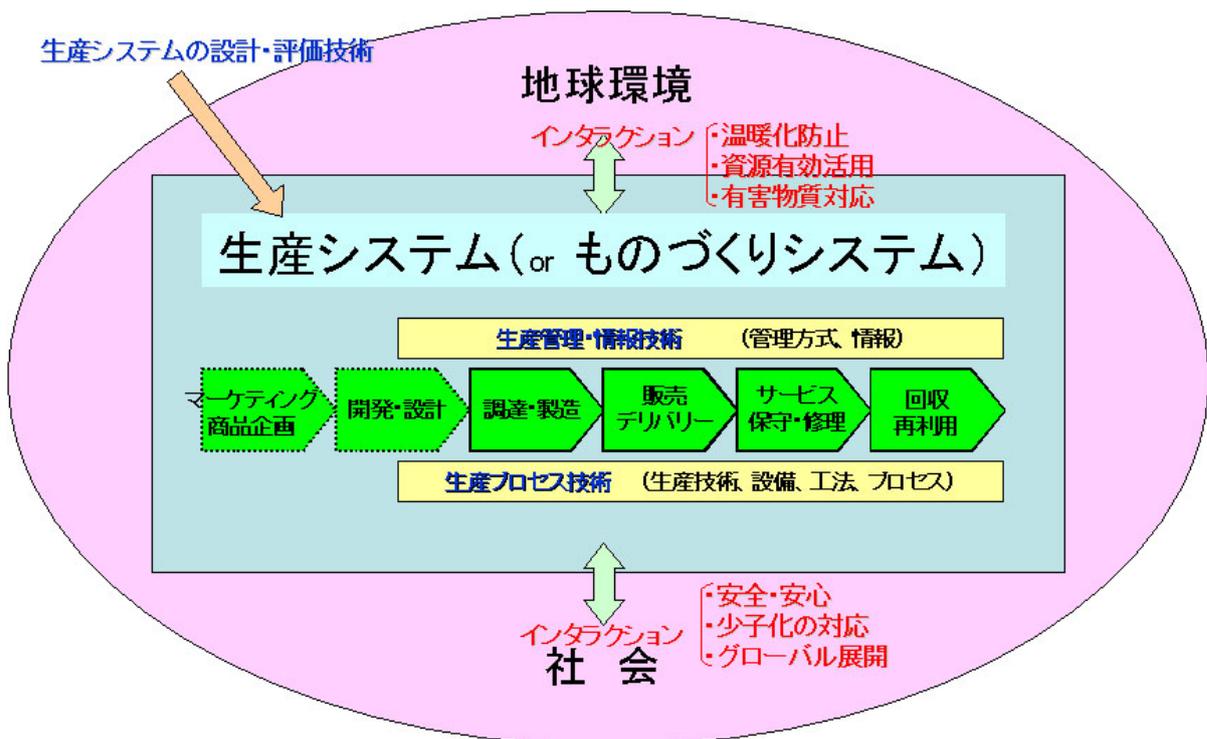


図 4.3.1 生産システムの構造

図 4.3.1 は生産システム全体の構造を表したものである。生産システムは、地球環境と社会との相互関係をもちながら人類に有用なもの（人工物）を作ることによって企業を存

続させ、同時に人が生活をする場を与えるものである。生産システムはそれ自身を設計・評価する技術を必要とするが、システムの重要な機能は、商品としてのものを企画し、設計、製造、販売、サービス、回収・再利用という一連の活動であり、この活動が無駄なく効率よく行われるための生産プロセス技術と、様々な情報が円滑に流れるように支援するための生産管理・情報技術になる。

生産システムに関する技術ロードマップを検討するワーキンググループ（WG）は、図 4.3.1 を基に、現在のシステムの延長線にはあるものの今だ実現されていない技術や、近い将来、浮上しそうな技術について、その要素技術のキーワードと実施時期を検討するとともに、今後、必ず配慮することになるサステナビリティというコンセプトを環境と社会の面から取り上げた。環境に関しては、環境問題に配慮しない生産システムはあり得ない、という視点から、温暖化防止・有害物質対応・資源有効活用という 3 点を念頭に、中小分類と要素技術、実施予想時期を考えた。また、社会に関しては、安全安心・少子化対策・グローバル展開という現在の状況を考えて将来技術のあり方を描くことにした。ただ、このような状況はそのときそのときの社会情勢で変わるものであり、あくまでも現在から近未来で予想される状況に即した生産システムのあり方を示唆していることは自明であろう。

なお、生産システムといってもその活動範囲は広く、多岐に渡るシステムが現存する中で、製造技術ロードマップとして対象としたのはいわゆるデスクリートな部品や製品を製造する機械組立て産業であり、石油製品などのプロセス産業や L S I 製造などは考えないことにする。

4. 4 生産システムロードマップ作成の作業

製造システムを設計システムと生産システムに大別し、それぞれのロードマップを総合して製造システムのロードマップを作成するという方針に沿って、生産システム WG は18年度の作業を始めた。今年度は何分にも開始時期が遅いために、来年度の本格的なロードマップ作りに向けての基本的なものを構想するという観点から進めた。WGとしての会合回数は3回である。

第1回目のWG会合では、ロードマップを、今後10年を見据えた要素技術とその実施時期を明記することで作り上げることにし、まず生産システムを表現する技術要素を大、中、小の3分類するとともに、その技術の実現までの時間的推移を検討した。技術項目の分類にあたって、大きく区分けするための大分類が重要で、これが中、小の項目を支配するため、大分類の項目に関して、委員各位の考え方の合意を取ることが肝要という観点から、各委員の生産システムに関して思うところや将来像を自由に述べ、それに基づいて議論を重ねた。意見調整を図ることは難しかったが、結果として、生産システムの大分類項目としては以下のような項目を設定することになった。さらに、各項目に適した中分類、さらに小分類にあたるキーワードに関して議論を行い、各自でキーワードを考えて提示した。

- 1 生産システムの設計・評価技術
- 2 生産システムの管理
- 3 生産システムの自動化
- 4 生産設備
- 5 生産システムの中の情報
- 6 環境を考慮した生産システム
- 7 社会を考慮した生産システム

第2回目のWG会合では、各委員から寄せられた中、小の項目にあたるキーワードをマージしたものを検討した。あわせて、新たに出された委員の生産システムに関する動向や将来像の資料を検討した。大分類の下に位置する中分類のキーワードの不適合なものあって再度議論を進めた。その結果、大分類を再度、見直して5項目にまとめ直すことになり、小分類は再考の余地はあるものの中分類までの骨子が固まった。これをもとに今年度最後になる第3回の会合で、ロードマップの一応の形ができると予想されるまでになった。ただ、作業内容が多いため、今年度は

- 1 生産設備
- 2 生産管理・情報技術
- 3 環境を考慮した生産システム
- 4 社会を考慮した生産システム

に限定してロードマップ作成に当たることにし、的を絞ることにした。したがって、第1回目のWG会合で提示した「1 生産システム的设计・評価技術」は、今年度の作業を見送った。

上記の項目選定の理由は、「サステナブル・マニュファクチャリング・テクノロジー」というテーマが経済産業省でも重要項目に掲げられており、ロードマップ作成にも大きな関連性があると考えたためである。

第3回目のWG会合では、図4.3.1を参考に、サステナブル、すなわち持続性のある生産システムとはどうあるべきかが議論され、また「生産設備」では限定されすぎるという意見もあって大分類をさらに再考し、

- 1 生産プロセス技術
- 2 生産管理・情報技術
- 3 環境を考慮したサステナブルマニュファクチャリング
- 4 社会を考慮したサステナブルマニュファクチャリング

と改名した。加えて、この中に中分類のキーワードを当てはめ、その技術の実施時期を矢印で記入した。矢印で、左向き矢は技術の開始時期を、また右向き矢印はその最盛期を表す。したがって、左向き矢がないものはすでに技術としては存在していることを示す。

生産システムには、トヨタ生産システム（ジャストインタイム、カンバン方式など）やセル生産方式（デジタル屋台など）、多品種変量生産システム、オンデマンド生産システム、コンカレントエンジニアリング、バーチャルマニュファクチュアリングなど様々な名称で呼ばれるシステムがあるが、これらは生産プロセス技術に関連するだけでなく、社会を考慮したサステナブルマニュファクチャリングとも深くつながるため、これをどのように分類し、位置づけるかについては煮詰まった議論が行われていなく、仮に生産管理・情報技術の大分類の中に入れてある。

このような経緯で今年度のロードマップを作成したが、第1回目のWG会合での大分類の2、5は手付かずであり、次年度に検討する予定である。また、同大分類の1、3、4の項目についても本年度のロードマップをたたき台にしてより精緻なものにするとともに、必要なら用語の解説も加えて、今後の10年の生産システムを眺めたときに全貌を鳥瞰でき、さらには必須技術に関しての認識を高められるように努めたい。

ロードマップの展開に関する具体的な進め方については、例えば、小分類の項目である「多軸加工」を例にとると、大分類「生産プロセス技術」にあり、その中核技術である中分類の「機械加工」に属し、現在の重要技術であることが分かる。要素技術としては、なお研究開発が続いているNCプログラム作成技術や多軸加工に適した工具開発などがあげられる。これらは、過去3回の工作機械見本市においても工作機械メーカーから多種の新鋭機が出回っている状況から、すでに活発に開発が行われていることがわかる。この技術はこれから3年ほどで隆盛期を迎え、成熟したものになると、読んでいただきたい。このような方法ですべての項目を調べあげることになる。

4. 5 生産システムロードマップ

4. 5. 1 生産プロセス技術

大分類	中分類	小分類	要素技術	実現予想時期		備考
				現在	3年 5年 10年 それ以降	
生産プロセス技術	機械加工	多軸加工	プログラム作成技術、 工具開発技術	→		
			高精度位置決め技術、 ソフト制御技術	→		
		複合加工	プログラム作成技術、 工具開発	→		
			高精度化技術、高速化 技術、バリ取り技術、面 取り加工技術	→		
		加工工具	高精度化技術、耐摩耗 技術難削材加工技術、 フレキシブル工具技術	→		
			インテリジェント工具シ ステム(工具JIT)	→		
		計測	超高精度3次元形状計 測技術	→		
			センサー高性能化技 術、小型化技術	↔		
		機械間誤差の自動補償	自動制御技術 センシング技術	→		
		低環境負荷	ドライ加工技術	→		
	高エネルギービーム加工	レーザー	ワークとレーザーの最適 制御技術、機能性付加 技術	↔		
		粒子ビーム	微細加工技術	→		
		プラズマ	表面改質技術	→		
	成形加工	圧延	超微細粒鋼技術	→		
		プレス	知能化金型技術、知能 化プレス技術、マイクロ フォーミング技術、高速 インクリメンタルフォー ミング技術	→		
		ニアシェイブ	ニアシェイブ加工技術、 高速インクリメンタル フォーミング技術	↔		
		射出成形	形状制御技術	↔		
	新加工	MEMS	半導体一体成形技術 高集積複合技術	→		
		AD(エアロゾルデポジ ション)法	成膜技術	→		Aerosal Deposition
		インクジェット法	回路基盤製造技術	→		
	溶接/接合	レーザー溶接	ファイバーレーザー活用 技術、レーザーレージン グ技術、レーザー・アーク ハイブリッド技術	↔		
		低歪溶接・接合	鋼のFSW・FSJ技術、 新固相接合技術	↔		
		高能率接合法	複合溶接技術	↔		
		インプロセス制御	センサ計測・判定技術	↔		
		溶接プロセスシミュレーション	溶接現象解析技術	→		
		複合材による軽量化	AL-鋼接合技術、FRP 接合技術	↔		
		リサイクル・リユース対 策	分離が容易な接合技術	↔		

大分類	中分類	小分類	要素技術	実現予想時期	備考
				現在 3年 5年 10年 それ以降	
生産プロセス技術	表面処理		イオンプレーティング技術、プラスチックめっき技術、セラミクスコーティング技術、熱CVD技術、光CVD技術	→	
	熱処理	低歪熱処理プロセス	熱処理シミュレーション	→	
		ガス冷却プロセス	熱処理シミュレーション	→	
	組立	部材精度管理	公差解析技術、組立シミュレーション(組立順序)技術	→	
		組立自動化/省力化	ロボットシミュレーション技術、パワーアシストツール技術	→	
	全自動生産ライン	自動加工ライン	複合加工技術	→	
			フレキシブル化技術、良否自動判別技術	↔	
		自動組立ライン	知能ロボット技術	↔	
			フレキシブル化技術、良否自動判別技術、複数ロボットの自律協調技術	↔	
	自動検査ライン	非破壊検査技術、官能検査技術	→		
	ロボット利用	ロボット利用(配膳工程)	形状認識技術	→	
		ロボット利用(組み立て工程)	力制御技術	→	
		人-ロボット協調生産ライン	人との協業化技術、安全性向上技術	↔	
		ロボットセル	ティーチングレス技術	→	
	フレキシブルマニュファクチャリングシステム		自動搬送技術、自動検索・格納技術	→	
			品種切替容易化技術	→	
実装		高密度実装技術	→		

4. 5. 2 生産管理・情報技術

大分類	中分類	小分類	要素技術	実現予想時期	備考
				現在 3年 5年 10年 それ以降	
生産管理・情報技術	生産管理	リーン生産システム	ジャストインタイム方式、自動化	→	
			生産管理、物流管理の高度化	→	
		セル生産方式(デジタル屋台、モジュール、多能工含む)	デジタルピッキング、部品照合、作業指示、LCIA化 (Low Cost Intelligent Automation)	→	
			予測モデル、混流生産ライン技術	→	
		多品種変量生産システム(混流生産ライン)	需要変動対応システム	→	
			RFIDタグによるロケーション管理技術	→	
			品種切替容易化	→	
		オンデマンド生産システム	市場と工場の密着化	→	
			プロトタイピング技術	→	
		次世代フレキシブル生産システム	自律分散型生産システム	→	
			ホロニック生産システム	→	
			生物指向型生産システム	→	
		サプライチェーンマネージメント	TOC	→	
			リスク管理	→	
	モノと情報の同期化		→		
	情報技術	コンカレントエンジニアリング	3DCAD利用技術、CAD/CAE/PDMによるデータ共有技術	→	
			FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)	→	
			設計と生産との連携	→	
		バーチャルマニファクチャリング	ロボットシミュレーション、工作機械シミュレーション	→	
			エルゴノミクスシミュレーション	→	
		デジタルマニファクチャリング	切削シミュレーション 成形シミュレーション 組立シミュレーション	→	
	品質管理	非破壊検査	高精度サイジング技術	→	
		分析	高精度分析技術	→	
		工程内全数検査	インプロセス検査技術	→	
		信頼性	FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)	→	
		データマイニング	検索・分析技術	→	
		加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム	モニタリング技術 センシング技術 ネットワーク技術	→	
非接触型高速、高精細センシング技術			→		

4. 5. 3 環境を考慮したサステナブルマニュファクチャリング

大分類	中分類	小分類	要素技術	実現予想時期	備考
				現在 3年 5年 10年 それ以降	
環境を考慮したサステナブルマニュファクチャリング (温暖化防止)	エミッションフリー			→	
	省エネルギー	生産方式、設備の高効率化	生産方式、設備の高効率化	↔	京都議定書の関連で促進予測
		ネットシェーブ成形	ネットシェーブ成形技術	→	
		ドライ加工	ドライ加工	→	
		回生			
		蓄積			
		変換			
	LCA(Life Cycle Assessment)				
	温室効果ガス対策	CO2削減	炭酸ガス固定化技術	→	
		CO2回収	植林、海中での回収	↔	京都議定書の関連で促進予測
CO2以外の温室効果ガス対策		代替化、除害化	↔	京都議定書の関連で促進予測	
エネルギー源転換	自然エネルギー活用	太陽電池、風量発電	↔	京都議定書の関連で促進予測	
	脱化石燃料の使用	植物性油脂のエネルギー化	↔	京都議定書の関連で促進予測	
(有害物質対応)	有害物質対応	有害化学物質無害化	有害化学物質無害化技術	→	
		ドライ加工	ドライ加工技術	→	
		オイルフリー機械	オイルフリー軸受け	↔	
(資源有効活用)	循環型生産システム		リサイクル資源活用の生産システム	↔	
	3R				
	化学物質の不使用、無害化	RoHS規制対応	有害物質の代替化、除害化		
	静脈系の生産システム (循環型生産システム)	最終処分削減	最終処分削減技術	↔	
		再生利用	再生利用技術	↔	
		長寿命化・メンテナンス	余寿命診断技術、非破壊検査技術	→	
		再生プラスチック	再生プラスチックの高品質化技術	↔	
		産業系汚泥のリデュース	産業系汚泥のリデュース技術	↔	
		環境配慮型製品	レアメタルの回収技術	↔	
	LCM				
	グローバル生産	同質化		→	
		同時立上がり		→	
		同一品質	作業指示システム	→	
		固有技術の囲い込み		暗黙知の形式知化・ビジュアル化	↔
			ブラックボックス化		
ミニマル加工システム					

4. 5. 4 社会を考慮したサステナブルマニュファクチャリング技術

大分類	中分類	小分類	要素技術	実現予想時期	備考
				現在 3年 5年 10年 それ以降	
社会を考慮したサステナブルマニュファクチャリング技術 (安全安心)	安全対策	本質的安全設計	人間工学、制御システム	→	
		安全防護	インターロック、行動監視	→	
		パワーアシスト	機械と人間との共存技術	→	
		TPM		→	
	情報セキュリティ/情報公開	不正アクセス、ウイルス対策	ネットワーク入り口対策、ウイルスチェック強化	→	
		情報漏えい対策	暗号化(IRM化)	→	(注)IRM (Information Rights Management)
		止まらないシステム(BC/DR対策等)	シンクライアントPC サーバ2重化、バックアップ電源	→	
		トレーサビリティ		→	
	安心対策	自然災害(地震など)対策	危険予知(未体験時)	→	
		健康被害(心身)対策		→	
		テロ等非常時対策		→	
	不具合対策	不具合事例	知識データベース技術	→	
			ナレッジマネジメント	→	
		TPM		→	
	危険予知と発生防止	失敗学	失敗データベース構築	→	
			失敗曼荼羅確立	→	
			創造設計技術の確立	→	
	(少子化対策)	ノウハウのデジタル化	技能者	計測技術	→
暗黙知の形式知化・ビジュアル化				→	
データベース化				→	
生産工程共通			計測技術	→	
			暗黙知の形式知化	→	
			データベース化	→	
デジタル化支援ソフトウェア		開発環境・開発ツール	→		
ノウハウの流出		技能人材マップ	→		
ノウハウの伝承		社内教育	OJT伝承、技能伝承マニュアル	→	
		可視化	バーチャルリアリティ技術	→	
	技能の分析技術、工学的解明、CAE、シミュレーション		→		
	データベース活用技術		→		
伝承支援ソフトウェア	e-ラーニング 開発環境・開発ツール	→			
(グローバル展開)	グローバル生産	品質確保と多機種対応	ライン同質化/固有化	→	
		効率の確保	作業指示システム/習熟システム	→	
		デリバリーの維持	同時立ち上げ サプライヤーバーク	→	
	固有技術の囲い込み	固有ノウハウの囲い込み	暗黙知の形式知化・ビジュアル化	→	
			ブラックボックス化	→	
		知財権の確保	権利化	→	

5. 設計に関する調査

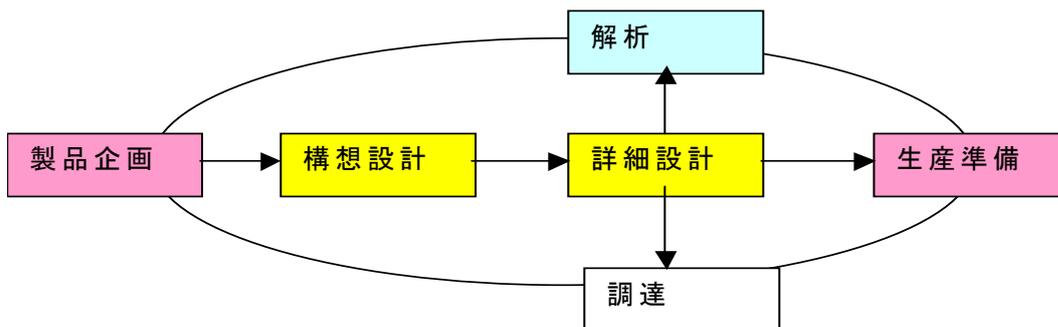
5. 1 設計WGの考え方・進め方

最初に設計WGが対象とする範囲を決めた。設計には大別すると次の図の3つがある。



どの分野も重要であり、特にソフトの分野は「組み込みソフト」を中心に製造業にとって重要な技術カテゴリーになっている。すべての分野を検討すべきではという声もあったが、範囲があまりに広がるため、機械設計分野に絞り込むことにした。生産システムWGの対象も機械加工、組み立て産業中心ということも理由の一つだった。

次に設計の範囲を考えた。ものつくりの工程を簡単に示すと次のようになる。



機械設計と一言で表現した場合、従来は詳細設計、広めに採っても構想設計を含む範囲が普通だった。しかし、3次元化が始まると、「3次元データの多重活用」「開発のフロントローディング」というキーワードの元、機械設計者の業務範囲が広がってきている。そこで、今回は製品企画など前後の工程に関しても取り込みを図っている。

次に、日本の製造業が求める姿を考えた。「高品質、低価格」という従来からのキーワードや「圧倒的な技術力」「ブランド力」などが考えられるが、次の3点を提案することにした。

- (1) 「日本の製造業に合致した設計システム」
- (2) 「中小企業に適した設計システム」
- (3) 「世界で戦える設計システム」

そして

「日本発のものづくり設計システムを発信」することを目標にすることにした。

当初の計画では次の3ステップで実施する予定だった。

ステップ1：将来のキーとなる技術、手法を検討する

ステップ2：キーとなる技術に関して、実現可能時期と影響度を評価

ステップ3：研究必要項目の選定と報告書作成

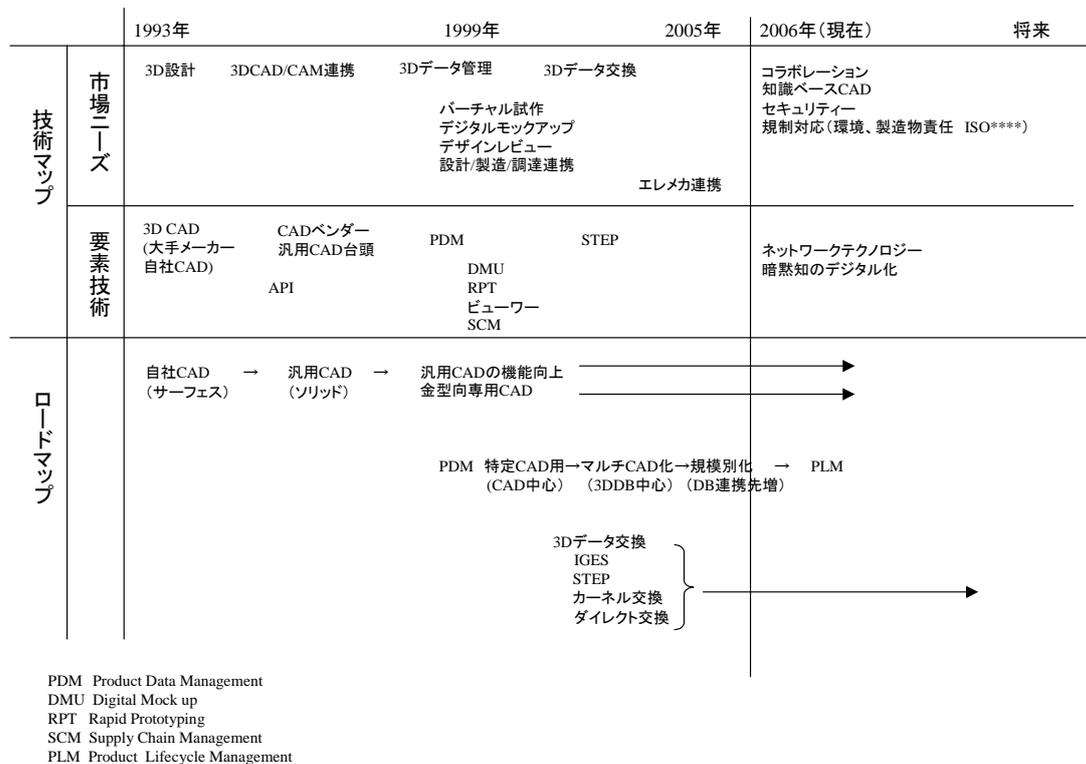
研究必要項目に関しては2007年4月からの新年度に実施していく予定である。

5. 2 設計技術の問題点及び課題

設計技術と一言でいうが、その範囲は年々広がっている。コンピュータ技術の進展により2次元CADが設計ツールの主流となっていたころは、設計技術者＝設計図面を書く人、であり、試作、生産準備に対して「図面」を出図すればよかった。また、別のユニットの設計者とは人間系で連携するのが普通だった。また、自動車産業などは、設計技術者は設計構想を提示するだけで、「トレーサー」という専門職が図面を実際に書いていた。非常に分業体制が進んでいたといえる。ここに、日本では協調性、協力性、つまり「あうんの呼吸」を發揮してモノづくりの分野で世界をリードしてきたのである。

コンピュータの中に3次元形状を作ることができる3次元CADが普及してくるとこの状況が大きく変わってきた。フロントローディング、つまりモノづくり工程の上流で機能、品質、生産性の作りこみをできるだけする体制が主流になっている。これにより、設計部門がつかさどる仕事の範囲が大幅に広がっている。試作レス、コラボレーションといったキーワードが生まれ、3次元データをどう活用するかが企業の成長を決めるとまで言われている。

デジタルエンジニアリング技術戦略マップ（日本のモノづくり設計製造技術に関する考察）

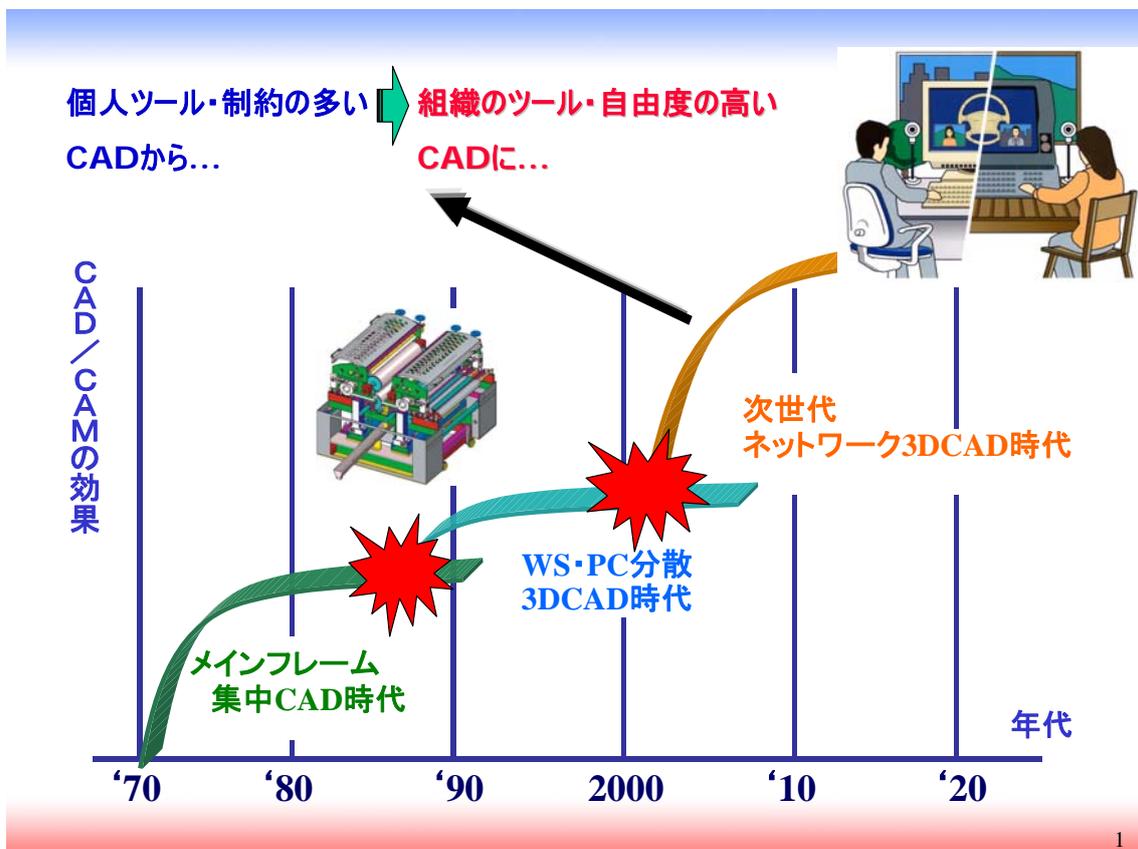


このように3次元を中心にしたフロントローディングを目指した設計体制が進む中、多くの問題が発生している。企業が今すぐ実現したい設計体制を簡単に書くと次のようになるであろう。

- ・ 製品企画に基づき設計者が機能、品質を考えながら、概要を3次元CADで設計する。
- ・ このデータを元に詳細設計を進める。この際、機械設計と電気設計間、ユニット間、ユニット内の部品間で設計データを自由にやり取りして、また、構造解析などのCAE、動作確認などにデジタルモックアップを使いながら機能、品質を作りこんでいく。
- ・ 機能試作はできるだけ省き、コンピュータ上で実施する。
- ・ ある程度まで設計が進むと、生産と設計間で3次元データを元に生産性を検討する。
- ・ 設計データはPDMシステムに格納され、調達、生産、メンテナンスなどに多重活用される。

しかし、現実には半分程度しか実現していない。

設計の中核ツールであるCADに関して開発経緯を簡単に表すと次の図のようになる。



ホストコンピュータで集中管理する形式の時代は2次元が主流だった。3次元の出始めはWS上で活用するCADが中心で、1セット1000万円以上する高価なものだった。その後、パソコン上で稼動するCADが出現し、現在では設計者一人に1台のCADがあるのも珍しくなくなっている。

しかし、現状のCADには多くの問題点がある。乱暴に言うとな設計に向く3次元CADがないということだ。詳細設計に用いる3次元CADの操作性が設計者にとって満足いくものではない。また、データをやり取りする際に、異なる3次元CAD間でデータがうまく渡らないという問題もよく起こっている。ダイレクトトランスレータというツールもあるがまだ高価である。

解析関連では設計者向けと歌ったツールも多く出ているが、解析内容、精度、使い勝手に問題が残っている。試作はかなり省けるようになってはいるものの、質感、触感といった面から「試作レス」は実現できていない。

3次元データの多重活用の面から見ると、BOM（部品表）にも問題がある。設計、調達、生産と別々のBOMを運用している。必要な項目が違うということが原因であるが、統合することが望ましい。

5. 3 設計ロードマップの考え方

現状の問題を踏まえ、製品開発力に大きく影響すると思われる項目を検討することにした。従って、ツールや現象などテーマに統一性があまりなくなっている。また、影響度が大きいであろうということだけで、影響の度合いは精査していない。これらの点は、次期WGで精査していきたいと考えている。

テーマは以下のようなものになっている。

課題	テーマ	概要
ビジネススピードの向上	第3世代CAD	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の世代のCADにおけるさまざまな制約からの解放を目標として、以下の6つの項目があげられる。 1.グリッドコンピューティング 2.エージェント型オペレーティングシステム 3.形状操作自由度 4.形状定義自由度 5.入力デバイス 6.表示デバイス
	金型設計とCAD	<ul style="list-style-type: none"> ・日本型ものづくりの根幹をなす金型設計の品質および設計期間の短縮をめざすためには、以下の4つがポイントとなる。 1.形状処理機能の向上 2.知識の利用 3.ノウハウ流出防止の仕組み 4.国産の金型設計CAD
製品付加価値の向上	設計品質の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・設計段階において製品品質を向上させるためには、データの精度の向上と設計変更に対する自由度の向上を実現していかなければならない。 ・異機種間におけるデータ交換がすすむなかで、設計品質の向上をいかに実現していくか。 ・いいかえれば、3次元CADデータの品質をいかに維持していくか。それが重要な課題となってくる。
	データ品質の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元CADの解析(CAE)、加工(CAM)、検査(CAT)の後工程で利用可能になったため、データの品質問題も起きてきた。そのため、4つの機能が要求されるようになってきた。あげられる。 1.チェックツール 2.ヒールツール 3.クオリティスタンプ 4.変換ツール
	設計上流支援	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では3次元CADは主として詳細設計段階において使われ、CAMなどの下流工程において、活用されている。 ・しかしながら、製品付加価値の多くが生み出される設計の上流工程においては、ほとんど活用されていない。 ・製品企画や意匠設計の段階において有用な3次元CADを開発し、活用することは、製品の付加価値を高めることにつながるとともに、TTMの短縮化につながる。
	現物融合(CAT、リバースエンジニアリング)	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元CADによる設計が進展するにつれ、実際に製造したものが設計どおりになっているかどうかを計測する技術(CAT)は重要になってくる。 ・また、クレイモデルなど、現にあるものを計測して3次元化する技術も、製品品質の向上につながるものと期待される。
	3Dモデリング技術	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の3次元CADの根幹をなすモデリング技術については、パラメトリック変形、フィーチャーベースモデリングをベースとしたものであるが、徐々にユーザーニーズにそぐわなくなってきた。 ・そのようなことから、3Dモデリングに関する新しい技術を開発していくことは、依然として重要なテーマである。

	ナレッジ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製品設計におけるノウハウをシステムに取り込むことは設計ミスの削減につながり、製品品質の向上につながる。 ・ 同時に熟練技術者の不足が予想される将来、ものづくりに関するノウハウを知識としてシステム化しておくことは競争力の維持につながる。
グローバル化への対応	コラボレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産拠点の国際化がすすむ現在、製品開発に参加する部門や企業は国際的なひろがりを持ってきている。そのような状況において、海外のビジネスパートナーとの情報共有をすすめることにより、設計の同時並行化をすすめることが可能となる。
	BOMをベースとした設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在、部門ごとにバラバラに管理されているBOMを統合し、CADとの連携をはかっていくことにより、設計段階における品質やコストを作りこむことが可能になる。また、BOMを統合化し、グローバル化に対応することができる。将来的には、BOMとCADを統合することにより、製品に関する情報を一元管理することがすすむものとみられる。ユーザーにおけるニーズに対応していくと、20年後のCADはそのようなものになっているだろう。

5. 4 設計ロードマップ

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2025年
製造業をとりまく環境 少子高齢化、人口減少に伴う労働力不足 出生：厚生労働省 生産年齢人口(15~64才)の減少 6600万人 団塊の世代の大量退職 → 670万人が退職 → 以降は派遣などの未熟練労働力でまかなうことに 6400万人 6200万人 5500万人												
国際競争の激化 日本GDP 4,571 4,635 4,700 4,766 4,832 4,900 4,969 5,038 5,109 5,180 5,253 5,800 中国GDP 2,234 2,457 2,654 2,800 2,954 3,116 3,288 3,469 3,659 3,861 4,073 6,000 インドGDP 725 761 799 839 881 925 972 1,020 1,071 1,125 1,181 1,800 単位：10億ドル 世界の工場としての中国の台頭 ・2025年には中国にGDPで抜かれることが予測されている ・ソフトウェア分野などでは新たなライバルとしてインドの台頭が予想される												
省資源から循環型製品製造へ 衰える日本の力 人口の減少→日本国内市場成長の鈍化 海外の技術の向上→製品の国際競争力の低下 ↓ 製造業にとっての課題解決の方向性 ビジネススピードの向上 製品付加価値の向上 グローバル化への対応												
技術の高度化 情報通信/ネットワーク CPUの高速化 ネットワーク 3GHz 7GIPS → 6GHz 25GIPS → 9GHz 64GIPS FTT 100Mbps → インターネット2 5~6Gbps												
ビジネススピードの向上												
	第3世代CAD グリッドコンピュータ エージェント型オペレーティングシステム 形状操作・定義自由度 入力・表示デバイス											
	金型設計とCAD (1)形状処理機能の向上 受け取ったデータに対する金型条件の折り込み抜き勾配 PLラインの段差盛り込みなど (2)知識の利用 設計データと密接に繋がった設計データベースの構築、利用 (3)ノウハウ流出防止の仕組み 用途によって複数のデータ構造を利用する 設計→金型製造、金型製造→設計(承認)など (4)顧客の金型設計CAD 国家プロジェクトでのづくりを支援 中産半端な支援ではなく数億、数千億規模でやってほしい											
製品付加価値の向上												
	設計品質の向上 設計検討を支援するツール 構想検討設計用ファーストオーダーアナリシス 意匠検討設計用フレキシブルデザインツール 暗黙知を含んだ専用開発用CADシステム ログの利用プロセス分析ツール 設計及び製品品質の向上のためのツール 解析システム 自動最適化システム 公差解析 検回機能											
データ品質管理 データ品質管理 データ品質管理のツール PDQガイドライン PDM(PLM)システムとの連携 チェックツール ヒールツール クオリティスタンプ 変換ツール												
設計上流支援 意匠・構案設計のデジタル化 (1)発想・配置計画設計システム プロダクトモデルの開発 音声力覚等による新しい入力デバイスの開発 (2)人間の設計動作を記憶し今後の設計に生かすCAD 実設計からのワークフロー取得システムの開発 ガイダンスシステムの開発 実用化 (3)仕様とコストの算定を容易に行えるCAD メンテナンスデータ利用システム 実用化システムの開発 過去の設計データベースとコストのマイニングシステム (4)原子炉船舶などの実験の難しいシステムの設計用CAD 新しいCAEや故障データの利用システム プロダクトと設計知識の運用システムの開発 設計のための力字などの表現システム 実用化												

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2025年
製品付加価値の向上	現物融合 (CAT、リバースエンジニアリング) 形状の認識 → CADデータ化 (フィーチャ、履歴の形成) → アセンブリの認識とデジタル化 → 製品そのものの認識とデジタル化 (1) 3次元スキャニング技術 光学式スキャナ、X線CT 基本性能 (分解能 (位置・密度)、速度) スキャン対象 単一部分 → 複合材メッシュ生成 → 簡略化 → 欠損部補完 → 中立軸・中立面 → 特徴抽出によるスキャン → 10倍 → 100倍 (2) 3次元データ生成技術 ボリューム 点群 → 単一材・メッシュ生成 → 簡略化 → 欠損部補完 → 中立軸・中立面 → 特徴抽出によるスキャン → 10倍 → 100倍 マッシュ生成 → 簡略化 → 欠損部補完 → 中立軸・中立面 → 特徴抽出によるスキャン → 10倍 → 100倍 (3) 3次元データ利用技術 リバースエンジニアリング → 対話処理 → 半自動特徴抽出+対話 → 応用別モデル生成 → 完全自動 CAT → プロダクトモデルによる自動評価 → レポート生成までの一貫システム → CAD+CAT連携ばらつき設計へのフィードバック 幾何公差評価 → ばらつき評価とフィードバック → CAD+計測関連データ管理 CAD-CAEモデルとの比較 → ばらつき評価とフィードバック → スキャンデータによる幾何公差評価規格 ボリュームモデル利用 → CAE応用 → CAD応用 → CAM応用											
	3Dモデリング技術 実行世代 (パラメトリック形状、フィーチャベース) → あいまいさの許容 → 3Dモデリング技術の標準化 → ものづくり情報の統合化 システム統合 → 立体カーネルの統合 → CAD機能のコンポーネ データ検索 → フィーチャの定式化 → 3次元モデルデータの検索と再利用 離散的な表現 → 離散的な表現の普及 → ボリュームモデリング → ボリュームモデリングと境界表現の双方向性 柔軟形状 → 柔軟立体の取り扱い → 生体のモデリング 形状表現の拡張 → 材質や表面性状の扱い → 製造誤差や曖昧形状の処理 制約の扱い → 電気系CADとの統合 → 構想設計とのリンク → 幾何的・空間的、物理的制約の取り込み → 時間変化の取り込み → CAEとの一体化 → 空間的な新入力デバイスの利用											
ナレッジ	CADへの知識の取り込み → 知識の体系化 → デザインオートメーションの実現 知識の収集と編集 ・知識/ノウハウの抽出 (暗黙知の形式化) ・設計標準、ルール、不具合情報など ・知識/ノウハウのDB化 (見える化) ・形式知のDB化 ・設計標準、ルールなどの抽出とDB化 ・不具合情報のDB化 ・暗黙知の形式知とDB化 ・CAD/CAM/CAEシステムと連携 ・知識はシステム内情報のみ、あるいはExcel連携程度 ・テンプレートや定型などの形状内に組み込み ・設計者がシステム化可能 ・設計の一部工程に適用 ・外部知識DBとの連携 ・自動的な知識の収集 知識のCAD/CAM/CAEシステムへの組み込み (1) 基準値、規格などの数値間の関係の組み込み ・数値情報 (寸法など) を利用した形状の自動 削り/自動配置 形状のチェック/配置のチェック ・非数値情報 (属性など) を利用した形状の自動 削り/自動配置 形状のチェック/配置のチェック (2) 設計プロセスの組み込み ・設計手順の標準化 ・設計の分岐 (判断が必要) のサポート ・ナビゲーション ・設計者がシステム化可能 ・設計の一部工程に適用 ・判断は人が介在 (暗黙知の利用) ・設計者がシステム化可能 ・設計の全工程に適用 ・外部知識DBとの連携 ・利便的なサポート (暗黙知の形式知化)											
	主に設計と生産間のコラボレーション → 設計間コラボレーション → 同時並行設計の実現 → 立体表示による同時並行設計 ・遠隔地間での設計検討が可能に → ・遠隔地間での動的な設計検討が可能に → ・大画面上で遠隔地の複数の設計者が同じデータで設計を進められる → ・テレプレゼンスによるコラボレーションが可能に デュワー 3Dデータの軽量化技術 → 軽量化技術 セキュリティ技術 → データベース制御技術 シンククライアント → パーチャリアリティ技術 センサ技術 通信速度の向上 (10Gビット/イーサの普及)											
グローバル化への対応	目的別BOMの段階 → BOMの一元化 → BOMをベースとした設計 構想BOM → 統合BOM → CADとBOMの統合 設計BOM 製造BOM 調達BOM 受注BOM メインテナンスBOM ・様々なBOMが部門、事業所別にバラバラに存在 ・BOM間の連携はほとんど取られていない ・設計/製造/購買などの部門間情報共有が出来ていない ↓ 設計部門以外の部門が持つ情報 (コスト、品質など) が設計に反映されない ↓ ・部門、事業所間におけるBOMの統合 ・設計/製造/購買などの部門間情報共有が実現 ↓ 効果 設計部門以外の部門が持つ情報が設計に反映 開発リードタイム短縮 設計段階におけるコスト、品質のつくりこみが一部実現 部品検査の迅速化により流用設計が推進 ・現状では図面やCADデータをベースにした設計 ・CADとBOMを統合し、CADデータにBOMが管理 する情報が取り込まれる ↓ 効果 設計段階におけるコスト、品質のつくりこみが可能 グローバルにおける製品情報管理が可能に											

5. 5 設計ロードマップ解説

5. 5. 1 第3世代CAD

日本における第一世代の3次元CADは、自動車メーカー自身が内部の技術者中心に作りだした。それらインハウスCADとよばれるシステムは、「必要からの創造」として生まれてきた。それに続く第二世代CADは、イギリスのケンブリッジ大学でのソリッド技術の開発や、アメリカのパラメトリックテクノロジー社のパラメータモデリング技術から生まれた。第二世代について原点は「技術」だったが、その技術が特に電機業界で作られる比較的自由曲面が少なく、また部品数の少ない製品では早い時期に実用化できたため短期間で大きく普及した。その意味では第二世代は「技術からの普及」と言っていいたろう。次に来る次世代のシステムは、その意味では現在のデジタル3次元技術の普及がもたらした光と影の中で、いかに影をなくすかという点からみるといいだろう。現時点での影は様々な意味での制約をなくし、もっと自由な感性と発想で開発に取り組めるようなソフトウェアツールだろう。その意味では第三世代のキーワードは「制約からの解放」と言ってもいいだろう。以下6つの項目を第三世代の課題としてあげた。

- ・ グリッドコンピュータ

コンピュータの容量、速度の制約を解き放つ鍵の一つがグリッドコンピュータ技術だろう。この技術が一般に実用展開されれば、使っていない社内の資産を有効に活用可能になるだろう。

- ・ エージェント型オペレーティングシステム

10年以上前から、コラボレイティング開発や、サイマルテニアス開発という言葉がキーワードとして使われている。残念ながらまだまだ、実現されているとはいいがたい。その意味ではオンラインゲームの世界で使われている方法を、設計開発に利用できるようになることが期待される。ファイナルファンタジーX Iのような場面の中で、複数のエンジニアが、お互い触ってよい時期に自分の働きをする。それ以外の時間には、システムが許容する範囲で、移動し、見ることができる。そんな場所を設計空間として、複数のエンジニアが共有できることが理想だ。

- ・ 形状操作自由度

最近のシステムでは曲面の極所変形機能を持つものが増えている。例えばデフォーダブル機能、モーフィング機能、GMSと呼ばれるもので、デザイナーの感性で自由に形状を触り、変形できることが要求されつつある。

- ・ 形状定義自由度

第一世代のワイヤーフレームモデル、サーフェスモデルに対し、第二世代はソリッドモ

デルと呼ばれる3次元の形状データを持つことができた。また、第二世代はその後、徐々にサーフェスの機能も充実させ、ハイブリッドと呼ばれるシステムに進化した。その意味では第三世代はニューハイブリッドという概念で、ワイヤフレーム、サーフェス、ソリッド、プロダクトモデル、点群、ポリゴンのデータを自由に操作可能であるべきだろう。またボリュームという概念も含むV C A D（参考文献）のデータ構造も一つのモデル形式として含む必要があるだろう。

- ・ 入力デバイス

現在の入力については、まだ感覚的な制約が多い。すでに研究開発の進みつつある反力を感知できるグローブや3次元マウスの実用化が必須だ。また音声認識技術の利用により、音声指示入力も必要だ。

- ・ 表示デバイス

従来の製図盤の大きさがあれば、全体の把握は非常に容易だった。その意味で、薄型で大画面のディスプレイの低価格化により、表示の制約も解除可能だと考えられる。また現時点でも、その補完的方法としては、複数ディスプレイの利用も行われている。さらに立体視のできるディスプレイやプロジェクタも一部では利用が始まっているが、価格、サイズその他の制約が取れることで、第三世代の主要なデバイスになる可能性が高い。

5. 5. 2 金型設計とCAD

形状処理に関してはこの10年CADに大きな進歩は無いと言って差し支えはないだろう。ナレッジや様々な機能が実装されてきてはいるが、現実問題として金型設計の現場で問題になっているのは、形状修正などのCADの基本と言うべき「形を作る」部分である。金型設計では受け取った製品形状に対して様々な変更を加える必要がある。例えば抜き勾配の付与や、片側公差部分の中間値を狙った形状変更などがそれである。このような形状変形は現在のCADでは十分な機能が無く、多くの場合ソリッドではなくサーフェスによる手作業で形状修正が行われている。このことは2次元図面で設計製造を行っていた頃には存在しなかった、新たな作業が後工程である金型設計に発生し、金型メーカーの収益力、競争力をそぐことにもなりかねない。

知識の利用に関しては様々なシステムがあるが、従業員20名以下の企業が全体の9割を占める金型業界で利用可能なシステムはほとんど無いが、あっても使い物になっていないレベルのようだ。どのような仕組みがよいか明確なイメージはないが、ベテラン技術者の減少が続く現在、早急な取り組み、それも形ばかりでなく使える仕組みを作る取り組みが必要な時期に来ているように思う。

ノウハウの流出に関して、この WG の目指すところからは若干ずれているかもしれないが、重要な問題なのであえてテーマとしてあげた。金型の取引には曖昧な部分がある。図面や CAD データの扱いも曖昧になっている。金型を海外で使うことが増えてきたため、金型のメンテナンス用に図面や CAD データの提出を求められる金型メーカーがとても多い。CAD データを渡してしまうと、そのデータでそのまま金型製造が出来てしまう為依頼を断りたいが取引上の立場の弱さから CAD データを出すことになるケースが多い。このような問題を解決するために何らかの解決策はないだろうか。例えば「参照（見る）」は出来るが利用できないとか、精度の悪いデータ不可逆なデータなど、何らかの方策が必要である。

他にも「ものづくり」の為には現在使われている CAD ではまだまだ充分でない機能が多くある。ものづくりの為の機能を市販の CAD ベンダーに期待しても無理だろう。大規模な道路や橋と同程度の予算では是非国産の「ものづくり CAD」を国家プロジェクトとして作り上げてほしいものだ。

5. 5. 3 設計品質の向上

(1) 設計品質を左右する要素

設計の品質については人に依存する部分が多く、製図盤から 2 次元 CAD、そして 3 次元 CAD などの道具変化とは本質的に異なる要因が非常に大きい。ただし、使う道具の変化は、設計品質に影響を与えていることも事実だ。紙図面においては、設計者の検討過程や設計変更履歴が残ることにより、設計意図のようなものが、最終成果物の図面の中に残る。それは先輩の図面を参考に図面を書き始める段階から、技術経験の継承が自然に行われていた。

2 次元 CAD においても、図面を書く作業とほぼ同じ設計行動がとられていたため、媒体は紙から電子データになり、大量保管、検索の容易さ、流用設計や設計変更の容易さのメリットに対し、あまり大きな欠点は無かった。唯一残る欠点としては、図面であれば、大きな用紙を使うことにより、全体的な把握が常に可能だったこと、盤面に残された図面を見て、上司が簡単に全体を把握し、検図も用意に行うことができた。一方で、3 次元 CAD の普及は、3 次元的な把握を容易にできるなどのメリットも多いが、現時点でも検図の問題や、全体把握、さらに設計者の意図をどれだけデータ内に残すことができるかなどの、設計品質に大きな影響のある部分については課題が残っている。

この章では以下の点について考察をまとめたい。

- ・ 設計検討を支援するツール
- ・ 設計品質向上のためのツール
- ・ データ品質向上のためのツール
- ・ 次世代設計支援ツール

(2) 設計検討を支援するツール

3次元CADの普及は3次元空間での形状の検討や干渉の検討などを非常に容易にした。その中で、以下の4者については現時点でもツールは存在しているものの、さらなる改良や普及が必要だと思われる。

・ 構想検討設計ツール

現時点でも「ファーストオーダーアナリシス」と呼ばれるシステムによる構想設計段階での検討は行われ始めたが、まだ研究の段階にある。これについては、何を設計するかにより、初期段階での検討項目が異なり、分野毎、部品ごとでのさらなる研究や応用開発、商品化開発が必要と思われる。

・ 意匠検討設計ツール

現時点では、デザイナー自身が3次元のツールで形状検討するよりは、デザイナーの意図をイメージなどで示された段階で、CG系のツールにより、3次元化を行うことが多い。またまだまだクレイモデルを作る必要のある製品も多い。これについては、入力や操作についてより一層フレキシブルなデザインツールの研究と開発が待たれている。

・ 知識データベース

設計作業は、形と性能、機能の関係を試行錯誤しながら決定していく作業といえる。その作業には、設計手順の理解、参考となる過去のデータ、チャートなどが必須で、それらはまだまだCADの中に上手に埋め込まれてはいない。CADのDをドラフティングという2次元の時代を経て、3次元CADのDはデザインと呼ばれている。しかしながら、本当に必要な道具はディベロップメント、つまり開発に必要な手順や、参考値が含まれている方が望ましい。その意味では設計(開発)支援ツール、**Computer Aided Development** システムが必要だ。

現在のパラメトリックモデリング可能な3次元CADは、パラメータを変更することで、一定のパターンの類似設計については、効果的な開発支援ツールになった。しかしながら、本当に暗黙知を含んだシステムについては、まだ専用CAD

システムを開発するか、汎用CADへのカスタマイズをする必要がある。

設計の流れをしっかりとフロー化し、参照データすべき入力データが簡単に検索でき、設計者の判断や処理が容易にでき、その処理結果が組み込まれた形状や情報が出力される……ということが実現できれば、本来の知識データベースを持った開発支援システムとしてのCADが構築できるだろう。

- ・プロセス分析ツール

設計作業のログを利用する分析ツールも近年発達しつつある。そのシステムを利用することにより、ベテラン設計者の効率的な設計を参考にしたり、教育ツールとして再利用できることもあり、開発が進んでいる。またその応用として、設計の生産性を評価するツールも考えられている。

(3) 設計及び製品品質の向上のためのツール

設計の品質を上げる目的は当然ながら製品そのものの品質を良くすることだ。その意味では2次元CAD時代から、有限要素法(FEM)による強度や性能解析をするための3次元データの作成が行われていた。この項では解析システムを含めた4つの技術について、現状と今後を簡単に言及したい。

- ・解析システム

本来解析システム目的は、目標品質や設計基本仕様を満たしているかを判断するためのツールだ。その意味では質量、体積、表面積を3次元データを利用して求めることも、2次元時代に比べれば容易になり、CADそのものが解析機能を含めたと考えることができる。また有限要素法による、強度、流体、機構解析の進歩は、バーチャルのデータにより、強度、機能、性能の検証を可能にした。振動や音響解析、さらに非線形解析の進歩により、衝突解析も実用になった。この先については走行安定性などの評価も、バーチャル設計には必要になるだろう。

- ・自動最適化システム

解析結果から、設計形状を変更するためのツールとして、自動最適化が行われ始めている。パラメトリックな形状変更による最適化については実用のレベルに達していると思われる。

- ・公差解析

設計の取り合いの中で重要なものが、精度であり、従来それは公差情報として、検討され、幾何公差、寸法公差、加工公差として図面に書き込まれた。その情報が正しく、ものづくりに反映されているかは別として、少なくとも2次元CADの時代

には、それらの属性情報は必須であり、公差ゼロのものづくりはありえなかった。一方では3次元CADの普及により、バーチャルデータとしては公差ゼロの形状が定義されるものの、後工程では、その形状を生産技術の経験から、修正する必要がある。今後の開発では後工程で十分に利用できる形でのアノテーションを、上流の設計段階で定義し、それを最終工程の検査、つまりCAT（インスペクション）へ連携する必要がある。

- ・ 検図機能

設計部門から情報が次に渡される前には、部門内承認としての検図が必要になる。今の段階での3次元CADでは、ベテラン設計者に3次元経験がないため、この機能について、さらなる工夫と開発が必要と思われる。これについては知識データベースとの連携のような、よりデジタルの利点を活かしたシステムが期待される。

5. 5. 4 データ品質の向上

3次元の設計情報が解析（CAE）、加工（CAM）、検査（CAT）の後工程で利用可能になったため、データそのものの品質問題も起きてきた。データ表現を変えるだけのデータ変換ツールではなく、トポロジーや形状精度の問題を解決するツールが必要となった。そのため、ツールには従来の入力出力機能だけでなく以下の4つの機能が要求されるようになってきた。また品質そのものの尺度を定義するため、JAMAやJAPIAが先頭に立ち、プロダクト・データ・クオリティ（PDQ）についてガイドラインが決められ、国際的な基準になりつつある。また、CAD/CAM/CAE/CATのエンジニアリングチェーンだけでなく、SCMやCRMなどのサプライチェーンとの連携として、PDM（PLM）システムとの連携もデータ連携の機能として要求されつつある。

- ・ チェックツール

JAMA/JAPIAなどで定義された、形状品質の要求項目（クライテリア）に対し、ある閾値（スレッシュホールド）内に入っていることを検査する機能が、プロセス連携ツールの機能として要求され始めている。ただし、ツール自身の精度保証についてはまだ方法が確立されていないため、今後の検討が必須だ。

- ・ ヒールツール

実際のCADで生成されるデータにおいてはPDQの基準を満たしきれないことが多く、その場合にはデータ品質を向上させるための、ヒールツールが必要となる。この機能についてもプロセス連携ツールには必須になっている。

- ・ クォリティスタンプ

品質のチェックが行われ、品質欠陥の部分をヒーリングにより修正できたことを証明するための機能が必要で、クォリティスタンプという呼び方をされている。まだ実装されているケースは少なく、その情報をどこにおくか、その情報を付加した後に修正が行われていないことをどう証明するかなどについては、今後の検討を基準化することが望まれる。

- ・ 変換ツール

実際にはデータ品質の良いものが後工程に渡されても、後工程での検討により形状の変更が必須なことも多い。解析工程では有効なメッシュ作成などのために、フィレットやその他微小部分の変形が必要なことも多い。また型の設計加工工程においても、型割り検討や、抜き勾配の設定、収縮への配慮などから、形状を変更する。その場合の修正については、従来の設計者のためのモデリング機能だけでは足りないケースもあり、そこでの隠れた変更時間、損失を軽減するため、プロセス連繫ツール自身にそれらの機能が要求されつつある。

5. 5. 5 設計上流支援

初期には CAD は図面に対応する物として発展してきたが、計算機のハードと知識処理ソフト等の進歩と、インターネットの普及と産業分野での利用により、CAD は単に図面というにとどまらず、製品の発想、計画から設計、製造、運用から廃棄に至るまでの全ライフサイクルをカバーするようになってきた。上流設計の定義も明確ではないが、製品の発想から、形状や配置を決定するまでをさすこととした。

その意味で、(1) 発想・配置計画設計システム、(2)人間の設計動作を記憶し今後の設計に生かす CAD、(3)仕様とコストの算定を容易に行える CAD、(4)原子炉船舶などの実験の難しいシステムの設計用 CAD、として要求される機能を端的に表すものを並べることとした。

(1) 発想・配置計画設計システム

簡単で柔軟な操作に対して対応できる上流設計と詳細なデータ構造を持つシステムへの橋渡しを行えるシステムを考える。

(2) 人間の設計動作を記憶し今後の設計に生かす CAD

知識を具体的に抽出、処理してその後の設計者が利用できるシステムとすることが必要である。

(3) 仕様とコストの算定を容易に行える CAD

上流設計とは言っても、最終的な製品のありかた、特にコストや概略仕様が予想されなくては詳細設計に入り得ない。

(4) 原子炉船舶などの実験の難しいシステムの設計用 CAD

これまでにない製品の設計を行うについては、類似品の設計経験をベースに物理的直感でポイントを押さえて進める必要がある。設計に際しての実験による確認が難しい製品に対して、CAE や、物理的な類推、過去の事故例などから正しく設計するためのツールが必要である。

5. 5. 6 現物融合 (CAT、リバースエンジニアリング)

現物融合 (現物融合型エンジニアリング) の特徴は、最新の 3 次元形状計測技術をベースにして現物とデジタルエンジニアリングを結び付けるものである。CAT (Computer Aided Testing) やリバースエンジニアリングは、この分野の中心技術として位置づけられる。日本の製造業は優れた現場の技術をもっている。そこで、この現物融合によって、現場の現物をデジタル化してデジタルエンジニアリングに織り込むことは、上流の製品開発や製造準備の向上にとって有効な方策と成りうる可能性をもつ。例えば、CAT やリバースエンジニアリングに加えて、次に挙げるようなことが実現できれば、品質・コスト・リードタイムの上で大きな効果があると期待されている。

○形状比較 現物と CAD モデル、部品同士、耐久試験前後の部品などの形状を比較する。

○形状追跡 1 個の特定部品形状の変化履歴を工程から追跡する。

○CAD へのフィードバック 実験などを経て最適化された試作品形状を CAD モデルに反映する。

このための 3 次元計測技術としては、非接触 3 次元スキャナや X 線 CT スキャナを用いる。そして様々な工程において現物を"そっくりそのまま"計測し、3 次元形状の現物モデルを生成し、さらにそれを CAD、CAM、CAE などのデジタルエンジニアリングに取り込むのである。

このような現物融合型エンジニアリングの技術分野は、次の四つに分類できる。

○現物検証 工程内で現物形状を計測し、形状や寸法を比較検証する。

形状偏差を検証するに加えて、CAD と比較して偏差の原因となる問題点を洗い出したり、異なる製造条件による製品の形状比較を行うことによって製造条件を最適化したりする。

○現物設計 実体の形状を操作して設計し、それをデジタル化する。

代表例はリバースエンジニアリングである。また、現物しかないもの (旧製品、他社製品)

の CAD モデルの生成もこれに含まれる。

○現物 CAE 試験対象の現物形状を計測して作成された現物モデルを用いてシミュレーションを行う。また上記の様に現物しかないもののシミュレーションにも有効である。

○現物計画 現物のデータに基づいて生産や設備の計画を行うもの。

例えば、機上で素形材を計測して、その形状データに基づいて NC 加工を行ったり、工場
の設備や建屋を計測し、それに合った設備設計を行う **As Built** モデリングと呼ばれるものもある。

技術戦略マップとしては、この分野を次の 3 つの軸で捉えようとした。

(1) 3次元スキャニング技術

現物融合のベースとなるスキャニング技術の発展を捉えるもの。3次元スキャニング技術は日進月歩であるが、大幅な性能向上には、様々な要素技術・要素部品の改良や開発が必要であり、緩やかに進歩していくものと思われる。

(2) 3次元データ生成技術

スキャンされたデータは、物体の表面点群であったり、X線 CT ならば、ボリュームモデルであったりする。これらは直接にはデジタルエンジニアリングで利用できないので、ここから様々な 3次元データが生成されることになる。この軸は、そのような 3次元データ生成技術の展開を予測するものである。

(3) 3次元データ利用技術

三つ目の軸は、上記のような 3次元データを用いたアプリケーションに関するものである。上で述べたように、現在でも様々な分野でスキャニング機器が利用されているが、その高性能化・低価格によって更に新しいアプリケーションが展開されると期待されている。

5. 5. 7 3次元モデリング技術

機械製品のノミナルな形状を表現し、それを解析や加工のためのレファレンスとして提供するという意味での 3次元モデリング技術は、既に実用の域に達した。しかし、「設計」をより効率的に進めるための機能の向上が、重要な技術開発課題の中心になる。ここではそれを、システム統合、データ検索、離散的な表現、柔軟形状の扱い、形状表現の拡張、制約の扱い、モデル入力 of 7 つの観点から議論する。

(1) システム統合：3次元モデリングに関して最も解決が急がれる課題は、異なるシステム間のデータの交換である。立体モデルのデータ構造は複雑な上にシステム間で微妙に異なっており、これに図形処理では不可避な計算誤差の影響が加わるため、完全なデー

データ交換技術は未だに実現されていない。データ交換で問題が発生するのは、立体モデルのデータの品質が低い場合であり、その多くは望ましくないモデリング操作を無理に実行した結果と言われている。そこで質の高いデータがコンスタントに得られようにモデリング操作を制限することで、データ交換の成功率を高めるPDQ（プロダクト・データ・クオリティ）の考え方が自動車業界を中心に普及し始めている。一方「モデルデータ」を交換するのではなく、立体モデルを作成する操作の履歴を交換する、という考え方も一部で始まっている。将来的には、このような操作の標準化と操作系列の交換という方法で、データ交換だけでなく、立体モデリングシステムそのものの統合化が実現される可能性がある。

(2) データ検索：製造の現場では、過去に作成した膨大なCADデータの中から、必要なデータを探し出す作業に時間を費やすことが問題となっている。この問題を解決するためには、立体データ間の類似性をどのように評価するか、そして検索の「キー」をどのように与えるか、という二つ課題の解決が必要となる。いわゆるフィーチャとその空間的な相互関係を、類似性評価や検索のキーに使うという考え方は、その有力な候補といえるだろう。

(3) 離散的な表現：現在のところは、境界表現法（B-r e p s）が立体モデリングの主要な手法となっているが、計算機メモリの大容量化にともない、立体を細かな格子構造として離散的に扱う、ボリュームモデリングといわれる手法が注目されるようになってきた。ボリュームモデリングでは、集合演算やオフセット（ミンコフスキ変換）などの複雑な幾何計算を安定的に実現できる上に、有限要素法などの解析処理と相性がよい。その一方で、計算精度を上げるためには、格子の微細化が不可欠であり、それは結果として計算量の増加を招くという本質的な問題点もある。最近、性能向上が著しいGPU（グラフィックプロセッシングユニット）を用いて、このような離散的な計算を高速化する研究が一部で始まっている。将来的には、境界表現法とボリュームモデリングが、立体モデリングの二大手法となり、これらの間のデータ交換が重要な研究課題となるかもしれない。

(4) 柔軟形状の取り扱い：立体モデリングはソリッド（S o l i d）モデリングと別称されているように、もともとは剛体を表現し処理する技術であった。しかし近年では、機械製品に組み込まれる電装品のケーブルや、ゴム製のパイプなどの柔軟な形状も扱いたいという希望が多い。柔軟物体を扱う手法は、コンピュータグラフィックスの分野で盛んに研究されている。その多くは有限要素法などに基づく解析的な手法を用いており、それ

らの成果が今後、CADの分野に波及してくることが期待されている。ただ「それらしい画像が生成できれば十分」であるグラフィックスの分野と、精度保証が要求されるCADではまだ距離があり、これらの手法のCADでの実用化には時間がかかると思われる。

(5) 形状表現の拡張：製造支援を考えると、柔軟形状の扱い以外にも、様々な形状表現が必要となる。機械製品では、部品表面の仕上げ粗さやテクスチャが機械の性能に大きな影響を与える。立体表面の性状をどのように表現し、それを機械の機能解析に反映させるかは、今後の重要な研究課題だろう。機械設計では、部品の形状誤差を、寸法公差や幾何公差で管理する。公差評価、すなわち公差の許容する誤差の機械機能への影響評価をどのように実現するかは、1970年代から続く研究課題だが、現在でも一般的な手法は開発されていない。

(6) 制約の取り扱い：寸法や組立など、機械部品の形状要素間には様々な幾何的な制約が課せられている。機械設計でのこれらの制約の取り扱いについては、1980年代に盛んに研究され、現在のCADシステムでは、フィーチャという概念の中に取り込まれつつある。機械設計では、幾何的な制約だけでなく、機械の機能に絡むより多様な制約が扱える必要がある。思いつくままにあげれば、機械に組み込まれる電装品に伴う電氣的・電子的な制約、構想設計段階で課せられた機能的・経済的・デザインの制約、機械の動作に伴う時間的・空間的制約、長期に使われる機械の経年変化（劣化）に関する制約などの取り扱いが考えられる。将来的には、これらの制約の処理が、3次元モデリングの一機能として実現されることが、望まれるだろう。

(7) モデル入力：立体形状を、2次元画面とその上を移動するポインティングデバイスを用いて入力することは、設計者にとって大きな障害である。現在は使用者の訓練と慣れで乗り越えているが、設計作業の一層の効率化を考えると、より効果的な入力技術の検討は不可避な課題である。一つの候補としては、3次元マウスとも呼ばれるハプティックな入力装置の利用が考えられる。意匠デザインの分野ではハプティックな入力が広く活用され効果をあげているが、幾何的な制約の緩い意匠デザインと、寸法などの制約の多い機械設計では、入力手順に違いが多く、デバイスの単純な置き換えだけでは効果はあがらない。

5. 5. 8 ナレッジ活用技術

設計分野での重要な技術要素として、CAD/CAM/CAE システムにおけるナレッジ機能が挙げられる。熟練設計者の持つノウハウは多くの場合、個人に限定されており共有化されていないため、設計者間での設計品質のばらつきや設計時間の差が出ている。また、設計者個人の持つ知識は、退職などにより失われる可能性もある。このため、設計ノウハウを CAD/CAM/CAE システムに組み込む試みが進んでいるが、まだ限定されたものに留まっている。今後も日本が製造業で世界をリードするためには、日本の優れた設計者の持つノウハウや知識を抽出し、これを CAD/CAM/CAE システムに組み込むことにより、一層の設計品質向上や設計コスト削減が必要である。このための重要な要素としては、①知識の収集と継承、②CAD/CAM/CAE システムへの組み込み（形状）、③CAD/CAM/CAE システムへの組み込み（プロセス）がある。これらについてのロードマップは次のように考える。

（1）知識の収集と継承

知識には、設計標準や設計基準と言った明文化されているもの、設計者個人が保有する明文化されていないもの、設計レビューなど設計作業時に発見された不具合情報や製造などの後工程や運用段階で発見された不具合情報など多岐に渡る。これらが、別々に収集・管理されては有効活用できない。また、これらは CAD/CAM/CAE システムとは別にシステム化されると考えられる。今後は、知識の一元管理と CAD/CAM/CAE システムとの密連携が重要である。

短期的には、設計基準や設計標準など、既に明文化されている知識やノウハウ（形式知）の再利用や更新が容易となるようにデータベース化され、誰でも設計作業時に参照出来るようになる。また、製造などの後工程での不具合情報も同一データベースに組み込まれる。ただ、この時点では CAD/CAM/CAE システムとの連携は、主に設計者に頼ることになると考えられる。

中長期的には、設計者個人の持つノウハウや知識（暗黙知）が、形式化されデータベースに組み込まれる。さらに、CAD/CAM/CAE システムとの連携も可能となり、CAD/CAM/CAE システムからのフィードバックにより知識の蓄積や更新も可能となると考えられる。

（2）CAD/CAM/CAE システムへの組み込み（形状）

設計基準や設計標準で決まっている形状の寸法間の関係や制約を CAD/CAM/CAE システムに組み込むことにより、設計品質の向上や設計期間の短縮を図る仕組みは、

既に可能となっているが、システム専任者によるハードコーディングでの組み込みが多く十分効果を発揮しているとは言えない。また、寸法以外の属性情報による形状の拘束や制約は、まだこれからの技術である。

短期的には、事務処理系ソフトウェアとの連携により雛形形状やテンプレート形状としての利用が進むと考えられる。形状の寸法の自動決定や、形状の自動配置といった自動化の方向と、形状や配置のチェックの両方向で適用範囲を拡大していくと思われる。ただ、適用範囲は限定的であろう。

中長期的には、外部の知識データベースと密に連携し適用範囲も設計作業全般に拡大すると考えられる。

(3) CAD/CAM/CAE システムへの組み込み（プロセス）

設計作業は形状の寸法や配置を各種の制約条件の下で決めていく作業であり、設計初期には無数にある選択肢を徐々に狭めていく作業と考えられる。また、解は一つではなく正しい選択肢も複数ある場合が多い。選択の基準は品質であったり期間であったりと求められる要件によりことなる。これは、設計者の最も重要な作業の一つであり、システム化は難しいと考えられる。

短期的には、標準化された設計手順が CAD/CAM/CAE システムに組み込まれ、設計の一部工程や特定部品などでの適用が始まると考えられる。

中長期的には、適用範囲の拡大が進むと考えられる。設計途中での選択を支援する機能も組み込まれる。また、手順の自動収集も徐々に始まると思われる。

知識の CAD/CAM/CAE システムへの組み込みは、設計品質向上や設計コスト削減に効果を発揮し日本の競争力強化に寄与すると考えられる一方で、組み込まれた知識は流出の可能性が高まるため、流出防止のためのセキュリティ強化と併せて技術強化を進める必要があると考える。

5. 5. 9 コラボレーション

コラボレーションは同時並行開発とか同時協業開発などと訳されることが多い。現状のコラボレーションにはいくつかの形態がある。

一つはチーム設計とも呼ばれる開発手法で、開発する製品をユニットに分け、データの管理ルールや開発担当を割り振る。設計者が関連するデータをいつでも参照できるので、開発効率が向上する。

もう一つは設計部門に CAD、生産部門にビューアがあり、設計したデータを同時に表示

して、生産性などを検討する形態。検討した結果によって即時、CAD データを変更する。変更した結果は生産側にも反映され、開発スピード向上に寄与している。

さらに、一つの部品、一つのユニットなどを複数の設計者が同時に見ながら、設計していく方法がある。

どの方法でもキーになるのは、遠隔地にいる技術者（設計、生産）と3次元モデルという開発の共通言語を通して、協業する点だ。このため、3次元データを共有できる技術、モデルを変更した場合に即時に反映できる技術、検討を展開できるチャットや音声通信技術などが用いられている。

現状のシステムでも十分に実用域にあるといえる。しかし、より使いやすいシステムを考えると、技術面では、データの共有化技術、データの軽量化技術、データの表示技術、データの変更技術、コラボレーションする人間同士の意思疎通技術、データなどの流出を防ぐセキュリティ技術などに革新が必要だ。

10年後には大画面を多くの技術者が同時に見ながら、遠隔地とも情報を交換し、開発を進める体制が整うと思われる。形状の変更も、ある程度の音声操作でできるようになっているかもしれない。しかし、この時点では、3次元形状を液晶（プラズマ）などのディスプレイ平面上に表示することは変わらないだろう。データグローブなどを活用して、人間の感覚で形状変更しながら開発が進められるようになると思われるが、2次元上への表示なので現実感に乏しい。2次元上に表示した画像を立体視できる技術がどこまで進歩するのかがポイントだろう。

次に、空間上に立体像を浮かび上がらせる技術がでてくると思われる。これによって、2次元上に表示していることで起きていた問題はほぼ解決できる。データグローブなどを用いて、リアルに変形やアセンブリができるようになる。また、コラボレーションする先の技術者も3次元映像として映し出し、よりリアリティのあるコラボレーションが実現する。

5. 5. 10 BOMをベースとした設計に関する考察

設計分野におけるロードマップについて、「BOMをベースとした設計」についてとりあげた。この理由は、製造業をとりまく市場環境はますます厳しくなってくるとみられ、その競争を勝ち抜いていくためには、ビジネススピードを向上させること、製品付加価値を向上させること、グローバル化に対応することの3つがきわめて重要になってくると思われるからである。そのためには、3次元CADそのものの技術的進化を追及していくこと

も重要な課題であるが、上記 3 つの方向性に対して、プラスの方向に進ませるものでなければならぬ。

製品設計および製造におけるリードタイムの短縮化、コストの削減について、BOM はきわめて重要な役割を果たすものとされている。

しかしながら、現時点においては、日本国内の製造業においては、BOM は工程ごとにばらばらである。つまり、構想 BOM、設計 BOM、製造 BOM、調達 BOM、受注 BOM、メンテナンス BOM というように、それぞれの段階において、個別の BOM とそれを管理するシステムが構築されている。

これには理由があって、それぞれの工程において必要とされる管理項目が異なるからである。設計段階においては、設計しようとする対象物の材質とか強度、あるいはだいたいのコストさえ管理すればいい、というユーザーは多いし、調達部門においては、材質とか強度などはどうでもいいから、その部品を提供する具体的なサプライヤーとその品質、およびロットごとの調達コストを中心に管理したいというユーザーがほとんどであろう。つまり、必要とされる管理項目が異なるから、BOM はばらばらに管理されているのであった。ある意味では、これは自然なことであつたし、仮に相互に情報を提供し合わなければならない場合が生じて、複数の部門が打ち合わせをすることにより、なんとかしてきたのである。

しかしながら、今後、製造業においてビジネススピードを向上させ、製品付加価値を向上させ、グローバル化に対応する際においては、こういったことは大きな障壁になる。なによりも、グローバル化を推進するにあたって、いちいち打ち合わせを行っている時間もコストもない。設計部門以外の部門が持つコスト情報や品質情報が設計に反映されづらいのは、大きな問題である。

そのようなことから、「統合 BOM」という考え方が出てきた。これは、それぞれの工程においてばらばらに管理されていた BOM を統合し、どの部門においても、その管理情報を参照できるようにしようというものである。自動車メーカーをはじめ、主要な製造業においては、大きな関心を持たれているテーマである。

設計段階において、統合 BOM を利用するメリットとはなにか。それは、言うまでもなく、品質やコストといった設計部門以外の部門が持っている重要な情報を設計に反映させることにより、設計段階におけるコストや品質のつくりこみが実現するからである。いわゆるフロントローディングであるが、これは、開発リードタイムの短縮を実現し、製品の競争力を高めるにあたって、大きな効果を出すだろう。

また、現在の製造業では、すでに設計した部品を流用するといったことは、意外とすす

んでいない。理由は、既存の部品のなかから似たような形状や材質のものを検索してみつけてくるよりは、新しく設計してしまった方がはやいからである。そういったことにより、現在は膨大な種類の似たような部品が設計されているような状況である。統合 BOM が構築され、部品検索が迅速化するようになれば、こういったことは減り、流用設計が推進されるだろう。そういったことも、開発リードタイムの削減にむすびつく。

将来的には、CAD と BOM の統合がめざされるものと予想される。現状では、図面や CAD データをベースにして設計が行われており、BOM というものはあくまでもそこから派生するものである、という認識である。したがって、BOM 上はひとつの部品番号がついていても、その図面や CAD データは、いくつものものに複数記載されている、ということになっている。これでは必要とされる情報を探すのに、それらの図面や CAD データをすべて参照しなければならず、著しく不便である。それに対して、最初に BOM があり、BOM の管理項目ひとつに対しては必ずひとつの図面や CAD データという原則となれば、参照しなければならない項目をすぐに見つけることができる。そういったことにより、設計段階におけるコストや品質のつくりこみは、さらにスムーズに行うことができるようになるだろう。

現状の 3 次元 CAD では、こういったことは不可能である。それは、現状の 3 次元 CAD は、立体的な図形を描くというところから大きく離れてはいないからである。将来的に 3 次元 CAD が進化し、CAD データのなかに、材料、コスト、品質、メンテナンス情報などといった複数の属性情報を盛り込むことができれば、CAD と BOM の統合は可能になる。

3 次元 CAD はものづくりの根幹をなす基本的なデータを作り出すものである。現在の製造業における課題というものを考え、ビジネススピードを向上させること、製品付加価値を向上させること、グローバル化に対応することをめざした場合、3 次元 CAD に対するニーズは、以上のように変化してくるものと予想される。いいかえれば、製造業にとって将来必要な 3 次元 CAD とは、BOM が管理している情報を盛り込み、設計段階において品質とかコストをつくり込むことが可能なものである。2025 年における CAD は、そのようなものになっているであろう。

6. 製造技術の動向調査

6.1 動向調査の概要

動向調査は、製造技術ロードマップの作成に当たっての基礎資料を得ることを目的として、製造科学技術センターのメンバー企業を中心に製造業の主要企業34社を対象として、現状と今後10年程度のスパンにおける設計・製造分野における技術の動向についてヒアリングすることにより実施した。

ヒアリングは、質問用紙を使用して、訪問企業の製造技術関係者に直接質問し、回答を得た。訪問企業は以下のような構成である。

今回、ヒアリング訪問にご協力いただき、製造技術に係る質問にご回答いただいた企業の皆様に、厚くお礼申し上げます。

業種別構成

総合電気 2社、 コンピュータ製造 2社、 自動車 2社、 自動車部品 2社、
重工業 3社、 家電 1社、 電子機器・部品 5社、 機械・機械部品 4社、
精密機械 3社、 建設 1社、 建設機械 1社、 光学機器・フィルム 1社、
FA機器 2社、 電線 1社、 繊維 1社、 陶器 1社、 ガラス 1社、
ソフトウェア開発 1社

6.2 質問内容

ヒアリングは、質問用紙を使用して、訪問企業の製造技術関係者に直接質問し、回答を得た。ヒアリング項目は、以下に示す8分野36項目である。これらについて、A：「すでに導入済み」、B：「今後5年程度の間導入する」、C：「当面導入の予定はないが将来的には必要」、D：「将来的にも必要はない」のいずれであるかを調査し、A：「すでに導入済み」の場合とB：「導入予定」の場合には導入時期を調査した。

ヒアリング項目

1. 設計技術

- 1-1. CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化
- 1-2. CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化
- 1-3. 設計部品表、製造部品表、購買部品表などの相互自動連携・統合化
- 1-4. 生産準備段階における製造コスト・プロセス評価システム

2. トータルな生産システム

- 2-1. トヨタ生産システム
- 2-2. 多品種変量生産システム
- 2-3. 全自動生産システム
- 2-4. オンデマンド生産システム
- 2-5. **Supply Chain Management**
- 2-6. スケジューリングシステム
- 3. セル生産システム
 - 3-1. セル生産システム
 - 3-2. 電子マニュアル、電子作業指示等による非熟練者でも可能なセル生産システム
 - 3-3. セル生産システムの配膳工程におけるロボットの導入
 - 3-4. セル生産システムの組立工程におけるロボットの導入
- 4. 品質管理技術
 - 4-1. **RFID** 利用による製品トレーサビリティの確保
 - 4-2. 全自動外観検査システム
 - 4-4. 履歴管理システム
 - 4-3. 工程ごとの全数検査システム
- 5. ロボット
 - 5-1. ロボットの組み立て部門への導入
 - 5-2. 人とロボットの協調による生産システムの導入
 - 5-3. 複数ロボットの自律協調による生産システムの導入
 - 5-4. 一品（少量）生産製品加工組み立てへのロボットの導入
 - 5-5. セル生産システムの組み立て工程へのロボットの導入
 - 5-6. 自律ロボット導入のための工場における環境の構造化
- 6. 加工技術
 - 6-1. 加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム
 - 6-2. インテリジェント工具システム（工具 **JIT**）
 - 6-3. ニアシェープ鑄造・塑性加工による機械加工量の大幅削減
 - 6-4. 切削・研削一体型工作機械による加工工数の削減
 - 6-5. 機械間誤差の自動補償技術
 - 6-6. レーザー加工技術の大幅導入
 - 6-7. **MEMS** 技術の部品加工への導入
 - 6-8. ミニマル加工システムの導入
- 7. 環境関連技術

- 7-1. 環境負荷削減：工場での廃棄物、廃油、廃水の発生を抑える対策
- 7-2. 省エネルギー施策：再生可能エネルギーの使用やコジェネレーションの導入
- 7-3. 環境負荷低減に配慮した設計（環境配慮製品を設計するツール、チェックリストなど）
- 7-4. 使用済み製品の回収：製品販売後の使用済み製品の回収ルート

8. ノウハウのデジタル化

- 8-1. 技能者のノウハウのデジタル化
- 8-2. 生産工程の共通ノウハウのデジタル化

6. 3 調査内容について

1. 設計技術・生産準備技術

コンピュータの進歩により、従来手作業の図面で作成していたデザイン等をデータ保存や改良等手軽に置き換えられるデジタル化の方向で進歩してきたが、日本の場合は、独自のCAD、CAM（CAE）化の方向で進展してきた。ただ、本来日本の強みである試行錯誤、摺り合わせ製造技術の簡略のためには共通データが必要であり、また、最終的にはこれら製造関連情報（鋳造、鍛造、加工や組立）に関しコンピュータ支援データが企画・設計から製品に至るまで、果ては循環型製品に繋がるまでの共通データとして使用できれば、効率的な生産が可能となる。これは10年前から言われてきているが、共通化できていないのが現状である。

ヒアリングでは、CADデータをNCデータへ変換する等の利用状況や部品データについて、設計部品表と購買部品表との連携等について質問した。

設計技術については、CADデータや部品データについて質問している。このうち「1-1. CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化」や「1-2. CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化」、
「1-3. 設計部品表、製造部品表、購買部品表などの相互自動連携・統合化」等については、「すでに導入済み」の回答が高い数値を示し、データが良すぎる。この原因は、「シミュレーションによる試作レス」や、「設計部品表と購買部品表の相互自動連携」について、広くとらえた回答が多いためと思われ、考慮が必要である。

2. トータルな生産システム

多品種変量生産システムやオンデマンド生産システム等の生産管理に係る技術に

についての現在の導入状況や、今後求められる生産管理技術について調査した。

3. セル生産システム

現在、セル生産万能のように考えられているが、業種、業態、工程、製品の種類によっては、ライン生産やその他の生産方式が適することも考えられる。生産方式と製品の種類等の関連を調べた。

また、ロボット採用についての考え方についても調べた。

4. 品質管理技術

ほとんどの企業は、製品のトレーサビリティは、処理の履歴や材料および部品の源がわかるよう管理されていると思われるが、検査システムの導入状況や管理システムの構築状況を調査した。

5. ロボット

ロボットは、コンピュータ+センサー+駆動部を持つ機械システムと定義し、合わせて、アシスト装置も含む広い解釈で質問した。

6. 加工技術

新たな加工技術を取上げ、それらへの取組みを調べた。

7. 環境関連技術

各社とも化学物質の管理等の法令／規制対応は実施しているものと思われる。省エネルギーのための施策や、環境負荷低減に配慮した設計への取組みについて調べた。

8. ノウハウのデジタル化

ノウハウのデジタル化とともに、技術伝承の方法や考え方についても調査した。

調査結果のデータを「参考資料」に示す。

本データ中のグラフは、ヒアリング企業25社分を集計したものである。

7. 製造技術戦略マップの策定に向けて

平成18年度は、業態の異なる製造業に共通する製造技術（設計や生産システムなどのものづくり技術）に関し、今後のわが国の競争力を確保するため、製造技術戦略マップの策定作業に着手した。

次年度は、平成18年度に作成した現状の製造技術ロードマップを基に、CAD、CAM等を含む設計技術及び加工、組立、生産管理、環境対応技術等を含む生産システム技術の動向を踏まえ、製造技術戦略マップを作成する計画である。

（1）設計技術ロードマップの作成

CAD、CAM等のデジタルエンジニアリング技術を含む設計技術について今後必要となる新たな技術を含む技術ロードマップを完成させる。

（2）生産システムロードマップの作成

加工、組立、生産管理、環境対応技術等を含む生産システム技術について今後必要となる新たな技術を含む技術ロードマップを完成させる。

（3）導入シナリオの作成

設計及び生産システムのロードマップに関し、今後出現が期待される技術やキーとなる技術項目に関しその実現方策につき検討し、提言を行うことにより製造技術戦略マップを完成させる。

おわりに

次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査は、製造技術の現状調査と技術ロードマップの作成からなる。

製造技術の現状はすでに認識されているようにきわめて厳しい。大量生産を中心とする組立産業は海外に移り、日本の製造業はマザー工場として製造技術の高度化、製品の高品質化を追求するしかないと言ええる。少子高齢化社会の到来は、製造業従事者の減少を招き、それにも増して技能者不足を加速化する。学生の製造業離れが顕在化する。一方で、持続性社会構築は緊急課題であり、製造業がその対応の重要な役目を担うことは明らかである。製造技術の現状調査はこれらの課題が製造企業においても認識されていることを明らかにした。これらの課題への対応には、製造システムを社会技術と位置づけての体系化が求められる。本調査はこのような背景のもと、次世代社会構造対応型技術の体系化を追求した。

製造技術ロードマップは生産システムと設計技術という2つの分野で描かれた。

生産システムに関するロードマップはまず具体的な生産システムにおける問題点を解析した。「人と設備と物のネットワーク」として生産システムを捉え、「製造業の課題」を考察した。具体的な生産技術としてレーザー加工技術を挙げ、技術課題及び今後の展望を調べた。次に自動車産業を例に「モノづくり革新の取り組み」と「グローバル生産」を、またICT企業における生産システムの歴史から生産システムの「現状と課題」とを考察した。以上の検討を経て、生産システムに関する技術ロードマップを検討するワーキンググループ(WG)は、未実現技術も含めて要素技術のキーワードと実施時期を検討した。特に、サステナビリティを環境と社会の面から取り上げて、重要視した。生産システムの活動範囲は広いため、今回の体系化では、いわゆるデスクリートな部品や製品を製造する機械組立て産業を選択した。化学や材料のプロセス産業は対象外とした。

出来上がった生産システムの技術ロードマップは技術要素の列挙とその時間的成熟度を示すことができた。しかし、生産システムでは技術要素が単独で発展することはまれであり、製品を構成する多くの技術要素の総合的な進歩で社会技術としての製造技術となる。今年度の技術ロードマップはまだそのような相互の関係の表現には至っていない。

設計技術ロードマップは、設計におけるコンピュータ支援技術を中心に調査した。2次元CADが設計ツールの主流となっていたころは「設計技術者＝設計図面を書く人」であ

ったが、現在の設計は製品の機能、製法、利用法、ならびに工場内管理まで全ての製造技術を見通すための総合技術になっている。フロントローディングと呼ばれるようにモノづくり工程の上流での製造システム全体を掌握するのみならず、製品が社会へ及ぼす多様な効果を的確に評価する役目までも担っている。そのような認識のもと、設計技術の問題点と課題とを日本の製造業競争力強化の視点も加えて、細かく検討した。そのひとつの現物融合型エンジニアリングは、最新の3次元形状計測技術をベースにして現物とデジタルエンジニアリングを結び付けるもので、IT技術と計測技術の統合が日本の製造業の競争力を強化する方向である。これは、第3期総合科学技術計画のものづくり技術分野においても「ITを駆使したものづくり基盤技術の強化」と「ものづくりのニーズに応える新しい計測分析技術・機器開発、精密加工技術」を重要課題としているように認識はされているのだが、具体的な施策は研究活動には結びついていないのが現状である。このような競争力強化に関する検討も織り込みながら、設計技術のロードマップを構築した。設計技術の守備範囲が広がっていることから細かい要素技術に関する検討は今回省略した。またCAEのように個別プロセス技術が必要な技術については、その全体像を論ずるだけに留めた。それでも設計技術ロードマップの作成の価値は極めて高いことが出来上がったロードマップを見ることで理解できる。

本調査では製造技術ロードマップを、設計システムと生産システムに分けて作成した。この2つのシステムは異なると一般には理解されているが、共に、製造過程全体を理解し、製造技術を取り込む必要があるという点で共通性は高い。しかし、製造技術ロードマップがこれら2つだけで表現できるはずも無い。製造技術の全体像を描くために、今年度、この2つの視点を確立することを試みたということが出来よう。出来上がった2つのロードマップが、次世代社会構造対応型の製造技術を理解する一助となることを期待するものである。同時に、今後、これらのマップの深掘り、ならびに製造技術の基礎となる加工プロセス技術や管理技術に関する技術ロードマップを作成することで製造技術全体の戦略構築に資することを願うものである。

参考資料

調査結果

製造技術戦略マップに関するヒアリング資料

質問項目の一覧

以下の技術について、「A:すでに導入済み」「B:今後5年程度の間を導入する」「C:当面導入の予定はないが将来的には必要」「D:将来的にも必要ない」のいずれかをお答えください。また、A、Bの場合には導入時期と対象製品を教えてください。

1. 設計技術

- 1-1. CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化
- 1-2. CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化
- 1-3. 設計部品表、製造部品表、購買部品表などの相互自動連携・統合化
- 1-4. 生産準備段階における製造コスト・プロセス評価システム

2. トータルな生産システム

- 2-1. トヨタ生産システム
- 2-2. 多品種変量生産システム
- 2-3. 全自動生産システム
- 2-4. オンデマンド生産システム
- 2-5. Supply Chain Management
- 2-6. スケジューリングシステム

3. セル生産システム

- 3-1. セル生産システム
- 3-2. 電子マニュアル、電子作業指示等による非熟練者でも可能なセル生産システム
- 3-3. セル生産システムの配膳工程におけるロボットの導入
- 3-4. セル生産システムの組立工程におけるロボットの導入

4. 品質管理技術

- 4-1. RFID利用による製品トレーサビリティの確保
- 4-2. 全自動外観検査システム
- 4-3. 工程ごとの全数検査システム
- 4-4. 履歴管理システム

5. ロボット

- 5-1. ロボットの組み立て部門への導入
- 5-2. 人とロボットの協調による生産システムの導入
- 5-3. 複数ロボットの自律協調による生産システムの導入
- 5-4. 一品（少量）生産製品加工組み立てへのロボットの導入
- 5-5. セル生産システムの組み立て工程へのロボットの導入
- 5-6. 自律ロボット導入のための工場における環境の構造化

6. 加工技術

- 6-1. 加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム
- 6-2. インテリジェント工具システム（工具JIT）
- 6-3. ニアシェーブ鑄造・塑性加工による機械加工量的大幅削減
- 6-4. 切削・研削一体型工作機械による加工工数の削減
- 6-5. 機械間誤差の自動補償技術
- 6-6. レーザー加工技術の大幅導入
- 6-7. MEMS技術の部品加工への導入
- 6-8. ミニマル加工システムの導入

7. 環境関連技術

- 7-1. 環境負荷削減：工場での廃棄物、廃油、廃水の発生を抑える対策
- 7-2. 省エネルギー施策：再生可能エネルギーの使用やコジェネレーションの導入
- 7-3. 環境負荷低減に配慮した設計（環境配慮製品を設計するツール、チェックリストなど）
- 7-4. 使用済み製品の回収：製品販売後の使用済み製品の回収ルート

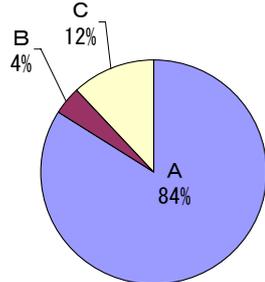
8. ノウハウのデジタル化

- 8-1. 技能者のノウハウのデジタル化
- 8-2. 生産工程の共通ノウハウのデジタル化

1. 設計技術・生産準備技術

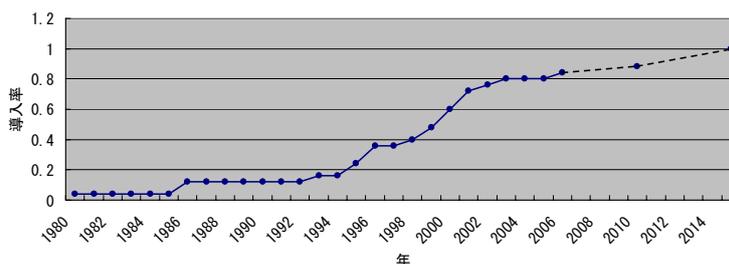
1-1 CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化

CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない

CADの高機能化によるデジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化



注意

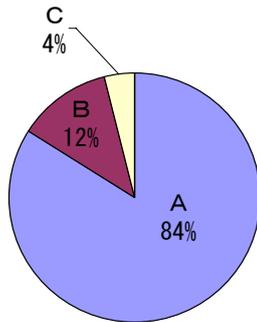
本ページのデータは、「デジタルモデルとシミュレーションによる試作レス化」をごく一部にでも使用している場合であっても、「導入済み」としていることに注意していただきたい。

コメント、対象製品

- ① 鋳造の湯流れ解析、溶接のシミュレーションを行っている。
3次元モデルを使用して、試作の前に溶接の干渉が無いか検討している。
溶接ロボットのティーチングをしている。
- ② ジェットエンジンの部品、農機等で採用している。
- ③ 冷蔵庫のデザイン、設計、試作、量産で3Dデータを活用している。
- ④ サーボンプ、インバーターの設計に採用。
- ⑤ 携帯電話、パソコン、半導体に採用。
- ⑥ 3D CADのデータをシミュレーションには、使用していない。
- ⑦ 試作レス化の取組みをしている例がある。
- ⑧ パワートレインやボディで使用している。
- ⑨ モーターサイクル、航空機で採用。
- ⑩ 電力／電機、家電、車両で採用。
- ⑪ 静的・動的構造(強度)解析に採用。
- ⑫ デジタルモックアップ、回路設計に採用。
シミュレーションは、機構、構造、電磁波で実施。
- ⑬ 試作レスは出来ないが、試作回数は減っている。
- ⑭ 試作レスにすることは、出来ない。

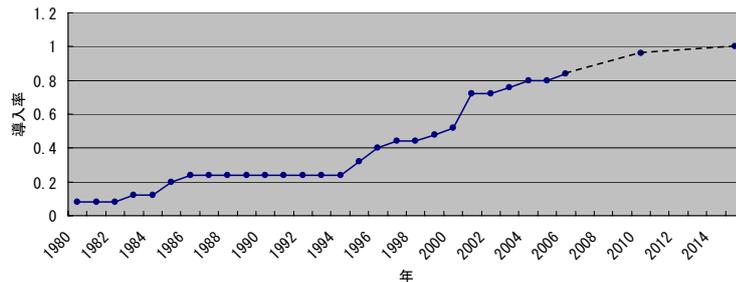
1-2 CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化

CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない

CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化



注意

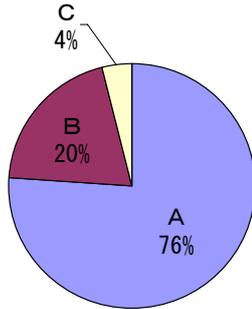
本ページのデータは、「CADデータを直接NCデータとして使用するCAD・CAM一体化」を製品の一部にでも使用していれば、導入済みとした。「導入済み」の企業も、ごく一部に使用している場合も含まれていることに注意していただきたい。

コメント、対象製品等

- ① CAD・CAM一体化は、あきらめた。
干渉のシミュレーションは行っている。
- ② 薄板の製造ライン(電気品の箱)で使用。
- ③ 外部への委託品は、CADデータより、図面のほうが良いという会社もある。
- ④ CAD・CAM一体化は一部分。CAD→ツール→NCデータ
- ⑤ 航空機部品に使用。
- ⑥ 2度手間であるが、NC単独で実施。NCデータ作成が楽になっている。
公差・工具管理等、知識データベースを持つ必要があるため。
- ⑦ 部品加工に使用している。海外(アジア)の大学でソフトを作成。
- ⑧ 板金関連
- ⑨ これからだ。
- ⑩ 型データに採用。2D-CADの時代から自社開発している。
- ⑪ 基板実装のみに採用。

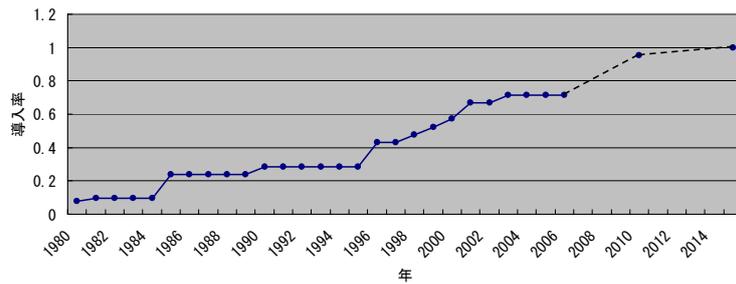
1-3 設計部品表、製造部品表、購買部品表などの相互自動連携・統合化

設計部品表、製造部品表、購買部品表
などの相互自動連携・統合化



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない

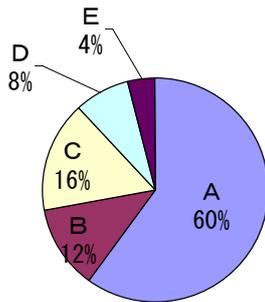
設計部品表、製造部品表、購買部品表などの相互自動連携・統合化



- ① 船の建造に採用
- ② 資材調達(CD、グリーン調達)の観点から部品情報の共通DB化
- ③ パソコン生産に採用
- ④ システムは作ったがどこまでうまくいっているかは、不明。
- ⑤ 生産管理システムを一新した。その活用領域を広げる努力をしている。
- ⑥ 自動車部品に採用
- ⑦ 車両、機械製品に採用
- ⑧ デジタル家電、電力/電機に採用
- ⑨ 実施は一部だ。人間の能力が高いため。
- ⑩ 設計BOMが基準で、製造BOM、購買BOMとリンク。
- ⑪ 設計BOMがもと。
- ⑫ 設計BOM→製造BOMへの一方通行

1-4 生産準備段階における製造コスト・プロセス評価システム

生産準備段階における
製造コスト・プロセス評価システム



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他



- ① 3次元データのデータベースを使用して、Excelでコストを算出している。
- ② 生産技術者の作業である。
- ③ システムは無いが、やっている。
- ④ 半導体チップの加工法評価で使用。
- ⑤ 当然やっている。
- ⑥ 子会社で採用したが、データメンテが無く、精度が悪く、活用されていない。
- ⑦ パソコン等で導入作業中。
- ⑧ 機構部品で60年代から部分的に実施
- ⑨ 全社的に統一したシステムはなく、加工法や製品ごとに適したシステムを採用
- ⑩ 白物家電、大型機械装置の組立・加工法評価で使用
- ⑪ エキスパートシステムは、信用無し。人のノウハウのみ。
- ⑫ 評価システムとして、まとまっていない。
- ⑬ 全ての製品に採用している。
- ⑭ ツールはあるが、初心者の教育目的に利用されている程度。
- ⑮ 基板実装のみで、全体への展開はしていない。

1-5 設計技術・生産準備技術に関する技術で、これから重要と
考えられるものや、各社特有な技術（1/3）

- ① 3次元データが、もっと製造現場に活用できればよい。
- ② 設計→3Dモデルをベースにしたものに取り組んでいく。
自社製作部品には、3Dモデルと部品構成表がある。
購入品は、部品表があつてモデルは無い。（外観はある。）
- ③ 金型部品設計の標準化に取り組んでいる。
- ④ これらの取組みについては、従来の業務改革的なITツール導入を、経営全般に
わたりITによる企業革新を加速するとの観点で推進を開始。
開発設計などの商品開発プロセスにおいては、上記のほかに、設計完成度の
向上のための熟練技術者のノウハウのDB化などが進む。
- ⑤ シミュレーションツールは、どんどん入れている。
シミュレーションに素材データが入るとよい。
- ⑥ 付加価値を高めていくこと。
加工精度、リードタイム短縮、ロボット化の方向。
- ⑦ 素材系で、調合、圧延等の形状、歩留まり圧縮のシミュレーション技術を構築中。
機械／建機ともにソフトウェアの占める割合が多くなり、その検証が大変である。
データの再利用など蓄積して効率化を図るシステムは種々試しているが、データの
入力がおろそかになり、よいシステムができない。
素材系では、BOMIに相当するものはあるが調達系とのリンクはできていない。

1-5 設計技術・生産準備技術に関する技術で、これから重要と
考えられるものや、各社特有な技術（2/3）

- ⑧ プロジェクトマネジメントが重要。
シミュレーションによる試作レスを展開する必要がある。（開発時間短縮のため。）
開発リードタイムは、2～3ヶ月である。
- ⑨ BD:ナレッジシステム
- ⑩ CADシステムで作図した人の名がわかるようにしている。
- ⑪ 海外製のCAD/CAMの使用によるノウハウの流出を避けるため、トヨタオリジナルを
上乘せして重要部分をブロックしている。
重要と考えられる技術としては、LCA用データベース、CAE 技術、設計品質評価
技術など。
新製品に対応する新加工技術、従来の加工技術に変わる新加工技術、例えば、
品質安定性及びコストの観点からスポット溶接に代わる技術（レーザー加工では、
代わりえない。）
- ⑫ コンペチターと協業していく方向。例えば、車両の場合、3社（川重、日本車両、日立）
で同一仕様で製造するが、作り方が異なる。
将来像の流れ:コンカレントエンジニアリング。
従来製造技術から革新的技術の融合へ向かう。

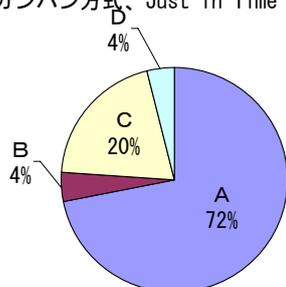
1-5 設計技術・生産準備技術に関する技術で、これから重要と考えられるものや、各社特有な技術（3/3）

- ⑬ 重要と考える技術：組込設計支援技術（ex. EMC: Electro-Magnetic Compatibility / 電磁両立性, 電磁環境両立性、解析ソフトウェアとその開発体制）
特有技術：モデルベースアーキテクチャー
- ⑭ 付加価値を高めていくこと
加工精度、リードタイム短縮、ロボット化の方向。
- ⑮ 垂直立ち上げのためには、シミュレーション技術が重要。設計を根本からやり直す（=型から作り直す）ことは非効率。
モデルチェンジ周期：以前は10年程度だったが最近は5年程度に短縮している。
CAMによる試作レスは、無垢材から加工するような金型では導入されているが、いわゆる部品加工では使えるソフトはほとんど無い。
部品の形状データを鋳物の形状データに変換させるCAMソフトを作ったが、それも限られた範囲のことで汎用ソフトにはなっていない。
- ⑯ 3D-CADを設計部門だけではなく、生産技術部門にも3D-CADを導入してCAMとのリンクをはかる
品質落とさず、短納期で行う要求がある。製造しやすい部品設計には心がけている。
- ⑰ タグチメソッドと3D解析(CAE)の融合(連動)
- ⑱ 新機能材料と設計の組み合わせが重要。また、解析技術(分析)は必要

2. トータルな生産システム

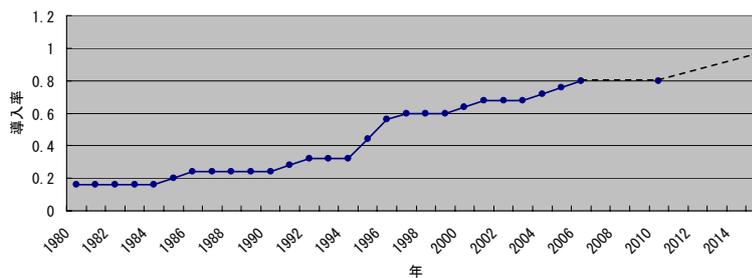
2-1 トヨタ生産システム(カンバン方式、Just in Time System)

トヨタ生産システム
(カンバン方式、Just in Time System)



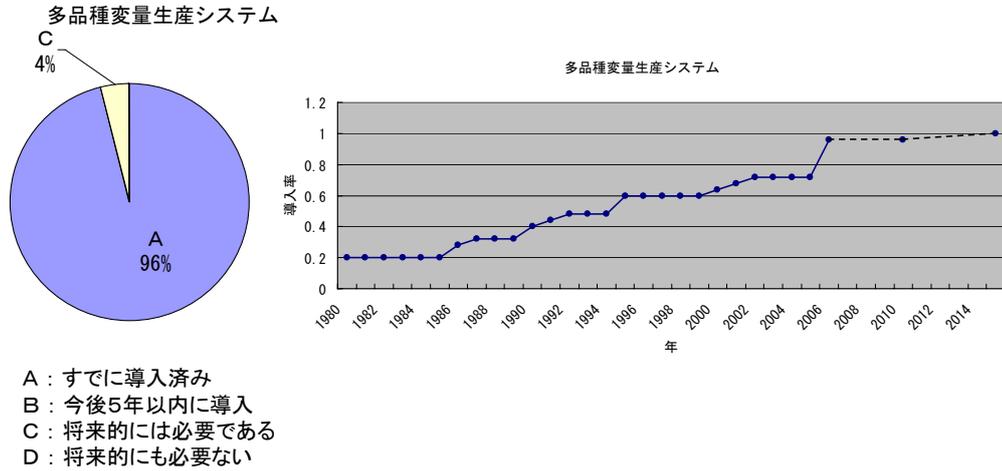
- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない

トヨタ生産システム (カンバン方式、Just in Time System)



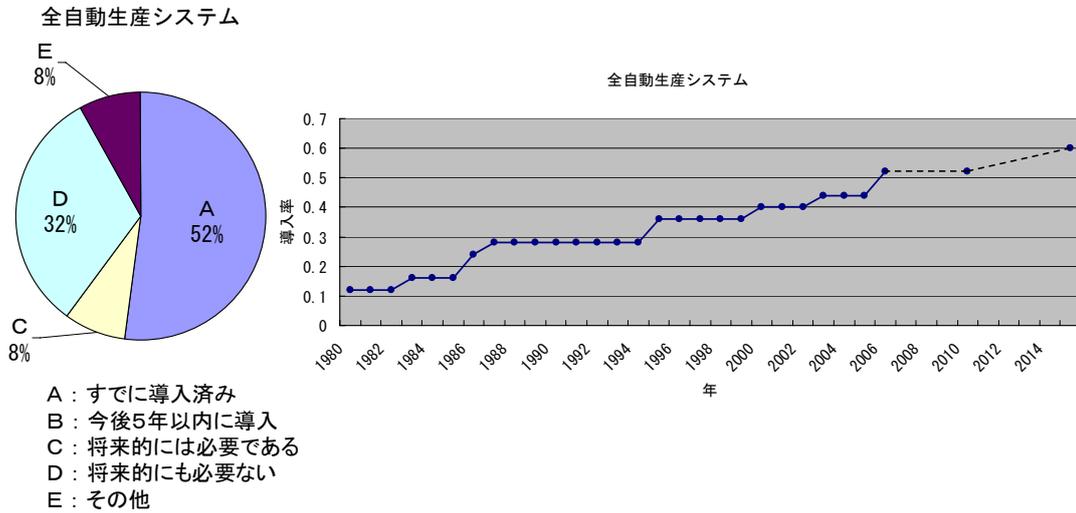
- ① カンバンは無い。小ロット化、混流生産、多品種少量生産を行っている。
- ② トヨタ生産システムは、それほどメリットを感じないので適材適所で導入している。
- ③ トヨタ生産システムの考え方を導入している。
- ④ 短時間で調達可能なプレス部品で実施している。
- ⑤ 在庫減らし、リードタイム短縮は、検討している。
- ⑥ 予想生産をしている。受注予想に基づき、世界統制している。
- ⑦ 全面的に採用している。
- ⑧ 当社独自のカンバン方式がある。
- ⑨ シグナル方式。JITで実施。
- ⑩ 一部実施。
- ⑪ 一部の製品に適用している。全体としては、会社になじまない気がする。
- ⑫ (当面導入の予定なし)リードタイムの短縮ニーズがない。製品性質上仕掛りが無い。

2-2 多品種変量生産システム



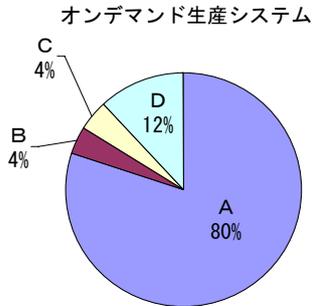
- ① 適材適所で採用している。
- ② 家電品で採用している。
- ③ 素材系では切り替え時間を最短にするスケジューリングシステムを構築。
機械系はもともと一品生産であるが、平準化された作業となるスケジューリングシステムを構築
- ④ このテーマは、変化している。あるときは自動化、あるときは人間中心。
FMSはやめている。人と混在するようなラインを作っている。
70年～90年頃はFMS、今は人間系。
- ⑤ 車両では全面的に実施。機械加工ラインでは一部実施。
- ⑥ そもそも標準品での出荷は、ほとんど無い。

2-3 全自動生産システム



- ① 段取りと検査は自動化できない。
- ② 近い将来の、全自動化は考えていない。
- ③ 半導体生産で採用。
- ④ 組立ての関係で自動化は少ない。 検査が自動化できない。
 経済性が成立てば、自動化の志向はある。
 日本で組立てるのはコスト高。海外で日本のような質のそろった人はいない。
 人件費程度の費用で自動化できれば採用したい。
 海外の自動化ラインは、稼働率が低い。
- ⑤ 人手が主流で、今後も全自動は無いだらう。(カメラ)
- ⑥ 素材系、機械系ともに全自動は無理。機械系の一部分の自動はあると思う。
- ⑦ 80年代までは、全自動生産システムを志向していたが、今は無くしていこうとしている。
 全自動生産システムは、フレキシビリティが無いので、自動化の度合いを落としている。
- ⑧ 将来的にも必要ない。コスト面から。
- ⑨ 金型等の一部で実施。
- ⑩ 半導体等の検査で、一部実施。
- ⑪ 平日は、人手作業。機械は長時間無人運転可能。
- ⑫ 研究はしている。
- ⑬ 無人ではないが、生産ラインは自動化されている。
- ⑭ 小物部品は自動化を目指す。

2-4 オンデマンド生産システム



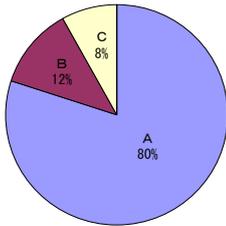
- A : すでに導入済み
 B : 今後5年以内に導入
 C : 将来的には必要である
 D : 将来的にも必要ない



- ① 完全オンデマンドは、考えていない。
- ② 基本的に、客先ごとに仕様が異なる。
- ③ そもそも標準品での出荷はほとんど無い。
- ④ 基本的には、仕様を決めてから受注し生産する。

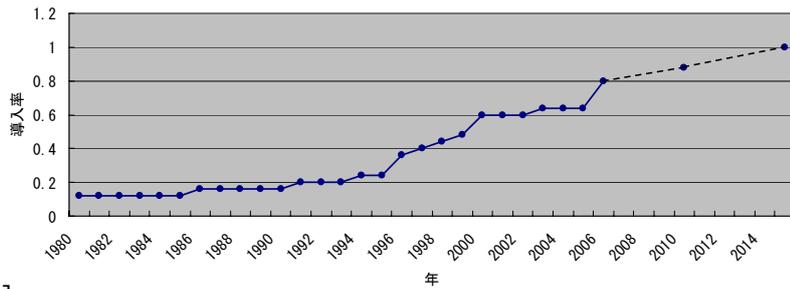
2-5 サプライチェーンマネジメント(SCM)

サプライチェーンマネジメント (SCM)



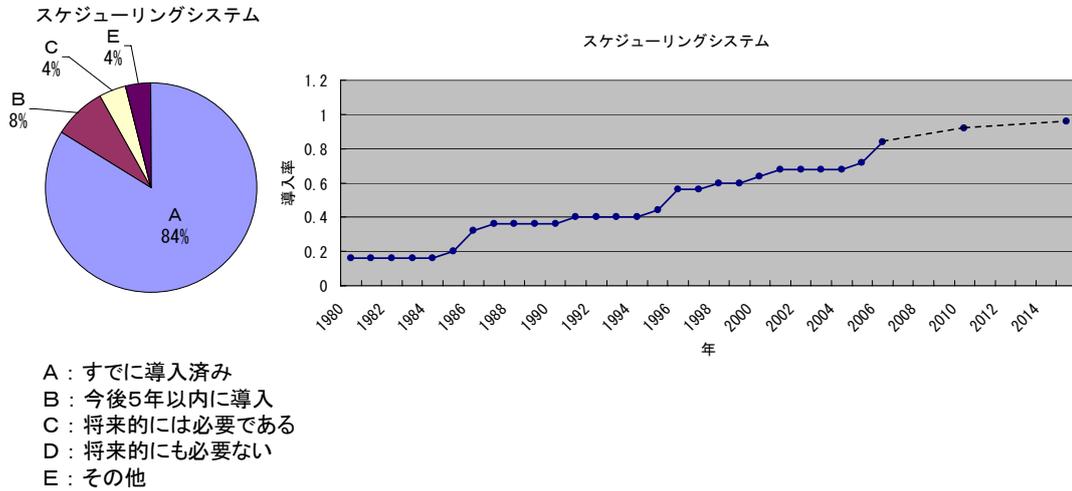
- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない

サプライチェーンマネジメント (SCM)



- ① お客の声を生産に持ってくることは、やっている。
- ② 行きは自社の製品輸送、帰りの便で、他社の製品を輸送。
- ③ システムは作ってあるが、上手くいっていない。
- ④ 素材系の一部の工場で実施している。
- ⑤ 資材部が全製品を統括管理している。
- ⑥ SCM等のソフトは導入していない。機能は人間が実施している。
- ⑦ 実施しているが、経営までは繋がっていない。
- ⑧ 実施しているが、「全体最適」を目的にはしていない。

2-6 スケジューリングシステム



- ① 組立関係では、時間単位までやっている。
機械加工品の調達は出来ていない。
- ② 自動化ラインにおける電子看板による生産指示。
- ③ 完成の域には、達していない。
- ④ 長期、月間で利用している。 日々の計画はシステムではなく、現場作成。
- ⑤ スケジューリングシステムは、やめてきた。プッシュ型でやるのは昔、今はプル型。
- ⑥ 基本はカンバン方式。 部分的にはスケジューリングシステムを実施。
- ⑦ 受注生産のため、それほど重要とは思わない。

2-6 トータルな生産システムに関する技術で、これから重要と
考えられるものや各社特有な技術(1/2)

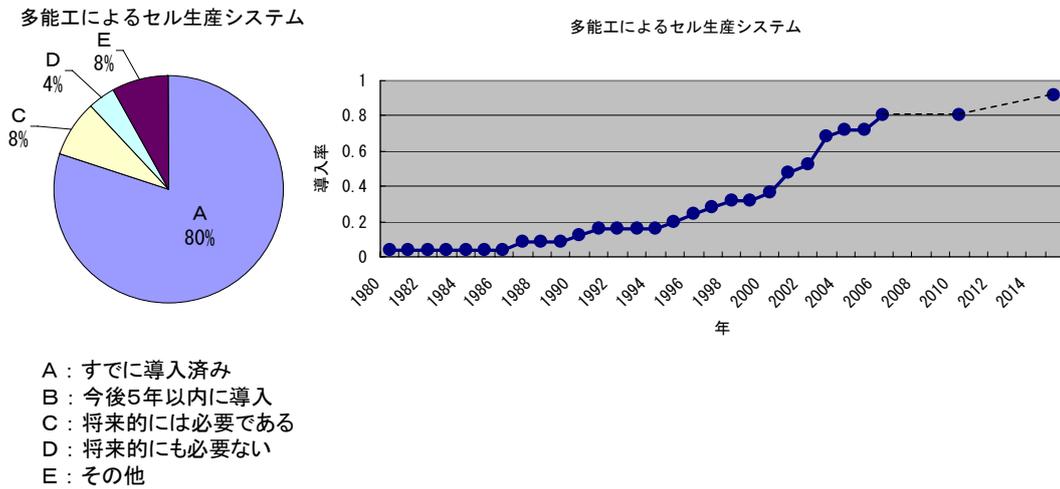
- ① スケジューリングが課題だ。
需要予測をして、在庫管理をしている。
- ② 生産シミュレーションをやりたい。市販のシステムの活用方法を検討したい。
- ③ 3次元CADの付加情報の標準化をしたい。
- ④ 生産システムの評価技術がほしい。
全体システムを最適システムにしようと思えば評価システムが必要だ。
- ⑤ 工程内でのリサイクルをもっと進めていく必要がある。
- ⑥ 長期～日々日程までを柔軟に対応できるスケジューリングシステムを構築したい。
- ⑦ プル型のサプライチェーンマネジメントがどこまでできるかを考えている。
製品の変化にどう対応していくか、ソフト開発とハード開発をどう同期させていくかが問題。
- ⑧ グローバル調達管理システム(途上国からも部品調達)
- ⑨ トータルな品質保証システム
製造物や生産システムのライフサイクルアセスメント
リサイクルなど市場に出た後の分野の技術開発
- ⑩ 重要と考える技術: 現在環境関係の製品では、動脈系のトータル生産システムに
力点を置いているが、今後静脈系のトータル生産システムが必要。
また、トレーサビリティが重要。

2-6 トータルな生産システムに関する技術で、これから重要と
考えられるものや各社特有な技術(2/2)

- ⑪ 広い意味での透明性は、人間が管理。
IT、CPUはあくまでも支援のみ。人間の教育が重要
- ⑫ 国内は、生産計画は見込みを立て、客先要望により周辺装置等の仕様が
確定次第、受注オーダーに割り当てる。国内では製品在庫は0。
国外は、即納が多いので標準品を見込み生産して発送することが多い
(特に欧州は船便で4週間くらいかかる)
- ⑬ 当然、新しいものは出てくるが、"主力"という意味では変わらないと考えている。

3. セル生産システム

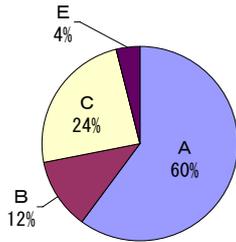
3-1 多能工によるセル生産システム



- ① 個別工程では実施しているところもあるが、全行程での対応は考えていない。
- ② 白物家電は、ライン生産。今後もライン生産と思われる。
パソコンもライン生産に近い。
- ③ 流れ作業は、90年代でやめ、→屋台→2000年頃から次の生産システム、と変化している。
- ④ 当社では、セル生産は不要である。(機械部品メーカー、自動化志向)
- ⑤ 一人屋台方式でできる製品はない。数人の流れ作業が最適。
- ⑥ 基本的にはないが、一部にU字型配置をした複数人対応のラインならある。

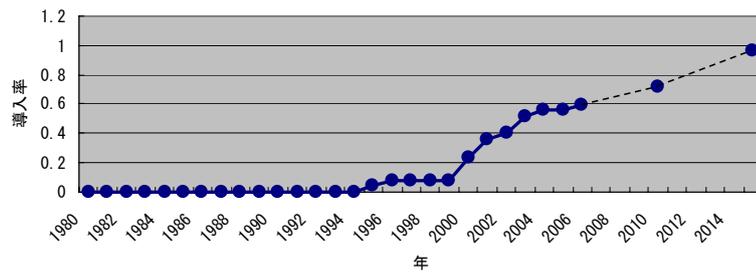
3-2 電子マニュアル、電子作業指示等による非熟練者でも可能なセル生産システム

電子マニュアル、電子作業指示等による非熟練者でも可能なセル生産システム



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない
- E: その他

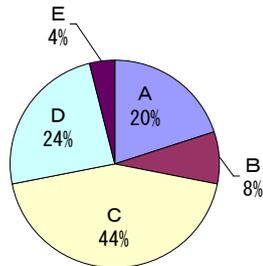
電子マニュアル、電子作業指示等による非熟練者でも可能なセル生産システム



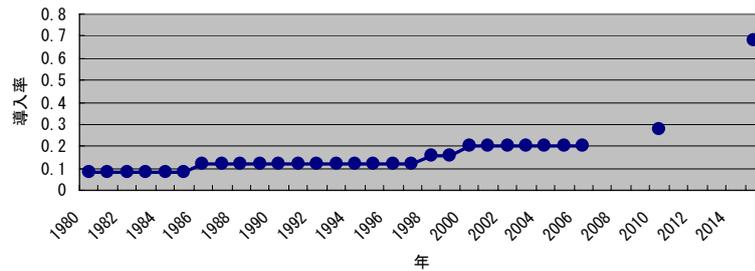
- ① 電子情報を画面で見る。一部の組立ラインでは、6年前から実施。
- ② 船の艀装では、屋外にコンピューターを置いて、3Dの絵を出している。
- ③ 作業指示帳票の電子化
- ④ エンジンの組み立て、種類の多いラインで実施。(セル生産に限定していない。)
- ⑤ セル生産でなければ10年ほど前から使っている。

3-3 セル生産システムの配膳工程におけるロボットの導入

セル生産システムの配膳工程におけるロボットの導入



セル生産システムの配膳工程におけるロボットの導入

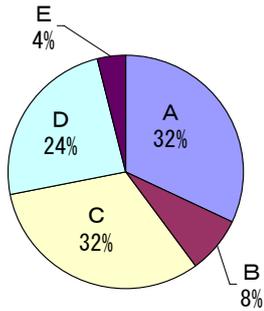


- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

- ① (将来的にも必要ない)あるに越したことは無いが、コストがペイしない。
- ② (将来的にも必要ない)セル生産ではないが、使っているところもある。
- ③ (将来的にも必要ない)技術的にすぐできると思えない。
(液晶、半導体では、やっている。)
- ④ 生産量が多いものは導入しているが、少ないものはペイしない。
- ⑤ 配膳工程にロボットを導入するのは難しい。導入するつもりは無い。
必要性を感じない。
- ⑥ 車両組立の部品供給に使用。(セル生産ではない。)
- ⑦ セル生産ではない。加工工程内の部品供給の自動化に利用。
- ⑧ 付加価値の高い所は、人が全て実施している。
- ⑨ セルでなくても、ロボットはコストアップになる。
- ⑩ 現在は実施の検討をしていない。(セル生産以外でも)

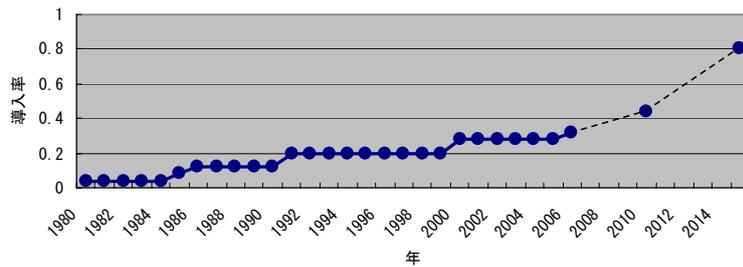
3-4 セル生産システムの組立工程におけるロボットの導入

セル生産システムの組立工程におけるロボットの導入



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

セル生産システムの組立工程におけるロボットの導入



- ① (ロボットは)フレキシブルでないので、汎用性をもたせないといけない。
- ② 今やっているのは、その製品に対する専用装置であるので、この設問でのロボットとは言えない。コストが問題。一部の製品で自動組立て工程は、志向している。
- ③ 数量が多いものは導入しているが少ないものはペイしない。
- ④ ネジ締めなど。
- ⑤ メカニカルな所は、全自動。
- ⑥ マテハンでは使っているが、それ以外では、なじまないだろう。
- ⑦ ライン生産では、積極的に使っている。

3-5 セル生産システムに関する技術で、これから重要と考えられるものや、各社特有な技術（1/2）

- ① 多能工化を必要としている。(人の育成が必要)多能工を育成することで、ラインのバランスを平準化できる。
- ② これまでの作業環境を変えずに利用でき、フレキシブルな作業に対応できるロボットがあれば利用するだろう。
- ③ セルの導入を2001年から全社で取り組んできたが、真に経営貢献するためには工場内の工程改革のみならず、SCMチェーン全体で、「総在庫」の観点でそれぞれのプロセスが連携することが必要ということで、当社は『Nextセル生産革新』というテーマで2005年から取り組みを開始。
- ④ セル生産のイメージとして組立て。品質保証の問題。重要なのは、検査技術。(品質確保が重要) 自動設備で生産すると売上げに対応しにくい、セルならセルを増減させて対応できる。
- ⑤ 人と協働する自動化システム。
- ⑥ トヨタ生産方式が重要。
- ⑦ セル生産方式には限界がある。必ずしも、生産性をあげることにはならず、一部ライン方式に戻している場合もある。競争力によりどちらを採用するかは異なる。オートキャンプ方式:製品組み立てに必要な部品をすべてそろっていることを確認した後、セル生産による組み立てを開始する。作業が途中でとどまることを回避するため。部品の配膳は大型のモジュールもあるので適宜実施

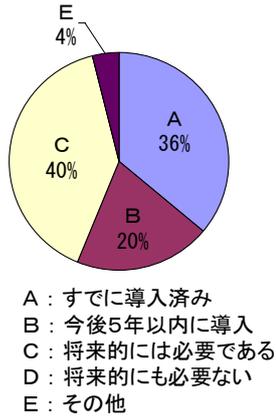
3-5 セル生産システムに関する技術で、これから重要と考えられるものや、各社特有な技術（2/2）

- ⑧ ・装置産業的生産と調達の連動が重要(セル生産システムの上流が大切。ex.TVやパネル組立など)。
・自動化が困難な所の自動化。
- ⑨ ・第3世代ロボット(人間と同じことが出来るロボット)は、周辺装置(通常はハンドリングなどで周辺装置3台程度が必要)が不要である。視覚、力覚付。ものづくり大賞(内閣総理大臣賞)受賞。
- ⑩ オートキャンプ方式:製品組み立てに必要な部品をすべてそろっていることを確認した後、セル生産による組み立てを開始する。作業が途中でとどまることを回避するため。部品の配膳は大型のモジュールもあるので適宜実施。
- ⑪ フレキシブルなロボット(数本のねじをバランスを取りながら締め付ける細かい半田付け作業など)が、柔軟な環境で使えれば検討したい。
- ⑫ ロボットセル生産の高度化、他製品への応用(現在は押しボタンスイッチ、リレー)、自動化率の引き上げ、ロボットのティーチングレス。ロボットセルは、当時(1990年代)の生産技術部門の役員が強力に推進して実現したもの。成功していると認識している。

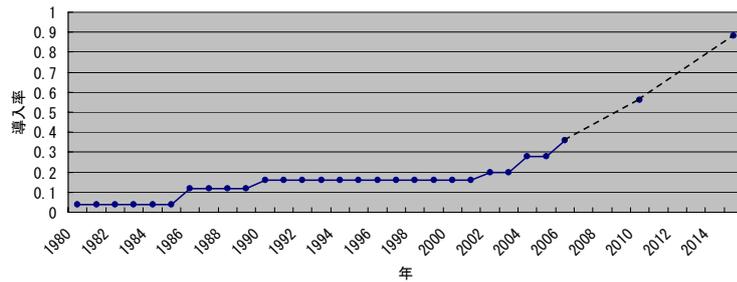
4 品質管理技術

4-1 RFID利用による製品トレーサビリティの確保

RFID利用による製品
トレーサビリティの確保

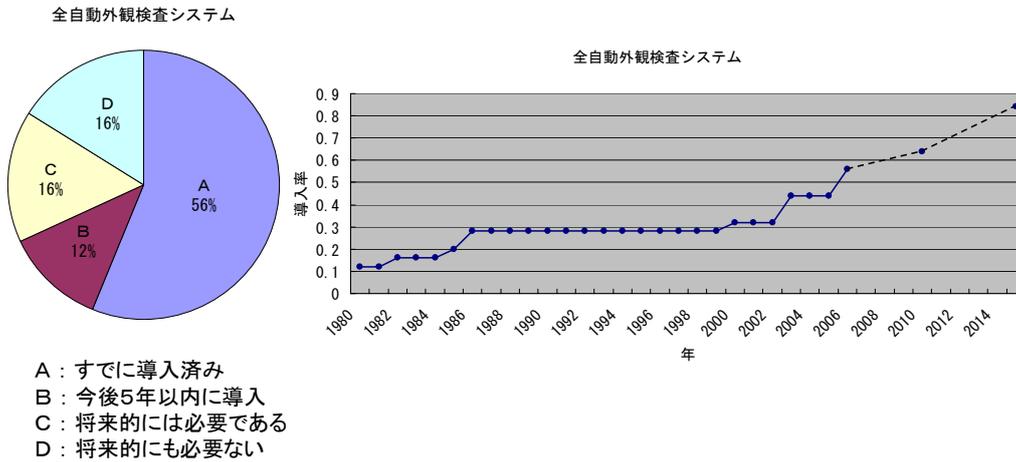


RFID利用による製品トレーサビリティの確保



- ① 製品には刻印を打っている。保留品には、ICタグを付けて管理している。
- ② ニーズはあるがコストが高い。
- ③ 検討している。
- ④ トライをしている。
- ⑤ 個別のIDがついていて管理している。(RFIDは使用していない。)
トレーサビリティは、ある。
- ⑥ 安価なら使うが、RFIDでなくても他で出来る。
- ⑦ バーコード、2次元シンボルで管理している。
- ⑧ RFIDは、使用していない。製品トレーサビリティは、昔からある。
問題点は、費用負担である。部品メーカー、組立てメーカーor輸送業者？
これでメリットがあるのは誰？
- ⑨ 2次元バーコードを主に使用している。
- ⑩ バーコードを使用している。
- ⑪ コストと利用環境(金属貼付など)が整えば導入したい。
- ⑫ QR、バーコードは使っているがトレーサビリティではない。

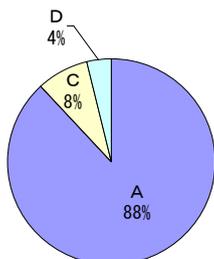
4-2 全自動外観検査システム



- ① 基板のハンダ付けの検査に使用。
- ② 画像処理速度、解析能力次第。
- ③ 各製品において基板実装工程など全般的に導入。
- ④ ティーチングなしの検査システムは、ありえない。
- ⑤ 欠陥、不具合などの定義がきちんとできれば可能になると思うが、そのような定義ができることはほとんど無い。
- ⑥ 組立検査の一部に使用。
- ⑦ 一部は実施(A)。ビジョンセンサによるプリント板実装など。
- ⑧ 全自動とすることは現実的ではない。
- ⑨ 重要項目として積極的に取り組んでいる(できるものはすべて実施)

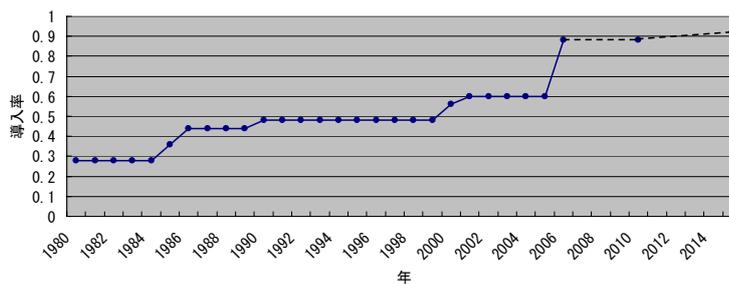
4-3 工程ごとの全数検査システム

工程ごとの全数検査システム



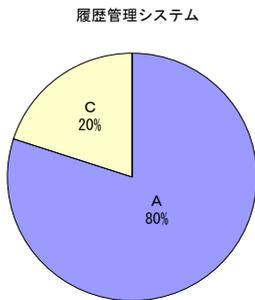
- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない

工程ごとの全数検査システム



- ① 個別生産品は、全て検査している。
- ② 基本的には、全数検査。
- ③ 航空機部品は、サンプリングによっている。
- ④ 加工は、抜き取り検査。
- ⑤ 必要な箇所は実施している。
- ⑥ 各工程でポイントを決め全数検査を実施。外注品は抜き取り検査。
- ⑦ 原則、全数検査。
- ⑧ 全て実施。
- ⑨ 工程の能力によっていろいろ。工程能力が無いとやらざるを得ない。

4-4 履歴管理システム



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない



- ① ノートPC・自動車関連部品などで実施。
- ② 履歴は電子化されて残っているが、温度チャートなど電子化出来ないものもある。
- ③ 障害の履歴は全数実施。加工は部分的。
- ④ 生産効率の追求のために残している。
- ⑤ 製品の重要度によって変わる。基本的に少ない。

4-5 品質管理に関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術(1/2)

- ① 熱処理関係の品質検査技術、ピーニング後の残留応力検査技術が必要だ。
- ② 3次元計測技術 外観検査と同じように、3次元の形状をわかるようにする。
精度良く、手間をかけずに。
- ③ 必要な精度まで測定できる装置はあるが、その精度を保証してもらえる仕組みがない。
- ④ 製造工程でのバラツキがあるので、(田口メソッド統合した)統計的な品質管理が出ている。
調達品の品質管理技術(Rohs対応を含めて)受入れ品の全品検査ができないところもある。そのような場合工程検査や、ISOに対応しているかを調べる。
その部品を組立てる瞬間にそれがスペック通りか検査できるとよい。
- ⑤ プロセス産業に共通する課題であるが、プロセス途中における品質状態を把握・コントロールして最終製品の品質を確保できるようにしたい。プロセス産業の競争力はここにある！
- ⑥ トラブル事例のデータベース化を進めている。
- ⑦ 品質を作りこむ技術がポイント。
- ⑧ 安定生産条件の維持、保証システム(安定的にものができる条件が確保されていないため、システムでカバーすることが要求されている。)
生産システムの故障の事前予知及び自動修復システム

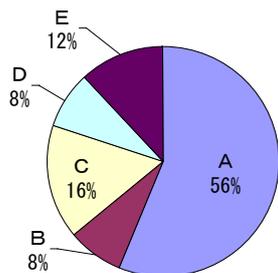
4-5 品質管理に関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術(2/2)

- ⑨ 全作業者がQRコードリーダーを持ち、加工工程毎にQRコードを読み込ませている。
品質管理データは、紙ベースで残している。デジタル化は必要だが、加工表面の模様など難しいものがあるため。今後はデジタル化を行ってゆく計画である。
- ⑩ RFIDではないが、履歴情報は記録している。(2005年から) 品質情報は検討中。
品質を維持する技術がほしい。このためには、試験技術が重要である。

5 ロボット技術

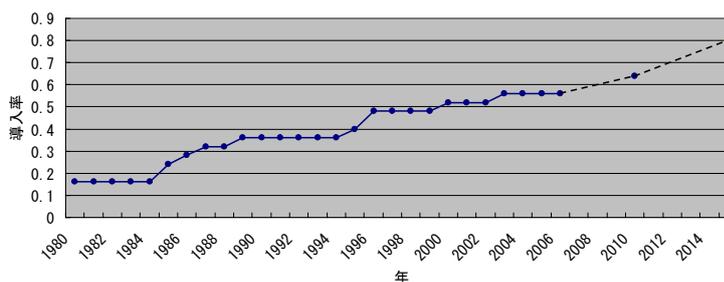
5-1 ロボットの組み立て部門への導入

ロボットの組み立て部門への導入



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない
- E: その他

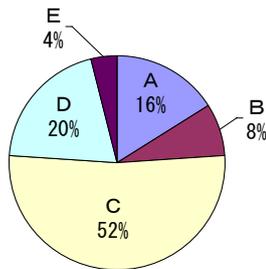
ロボットの組み立て部門への導入



- ① 組立ラインの運搬、受渡しに使用。
- ② 溶接ロボット
- ③ 製品の特徴として客先でさらに加工するので、できれば組み立てせずに出荷したい。
現在は、勤合検査等が必要なため仮組して出荷している。
- ④ 機械系で溶接ロボットは使っている。
- ⑤ ロボット導入は、やめている。
70年代、80年代は、どんどん入れた。90年代半ばからやめてきた。
ロボットの自動化ラインは、やめた。XY方向に動いてネジ締めを行う装置は、動いている。
- ⑥ 溶接工程では導入済み。
組み立て、搬送部門への導入拡大を検討。
- ⑦ 重量物のみ。

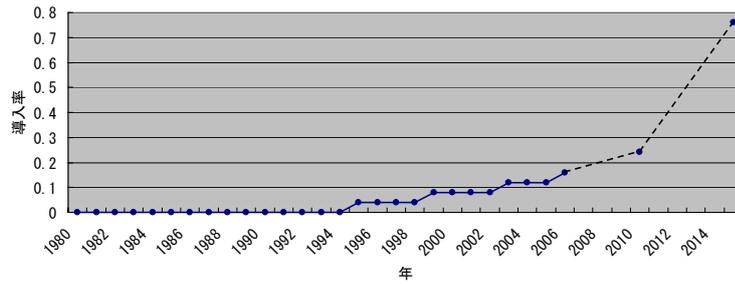
5-2 人とロボットの協調による生産システムの導入

人とロボットの協調による
生産システムの導入



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

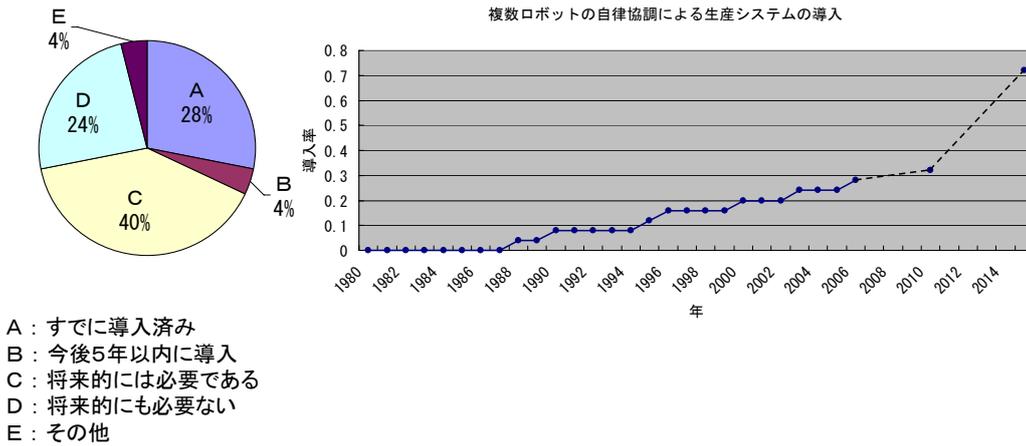
人とロボットの協調による生産システムの導入



- ① 危険度が高い作業はロボット化したいと思っています。
- ② 80ワット以下のロボットで導入。アシストは進めている。
- ③ 完全自動化を目指したいので、人との協調は、あまり考えない。
- ④ 製品が少ないので、人とロボットの協調は不要。
- ⑤ 安全の問題があるので、導入は将来だ。
- ⑥ 採用しない。人間との協調はロボット導入効果を減少させる気がする。
- ⑦ ロボットの制御技術が進化すれば導入を検討したい。
- ⑧ 移動ロボットなど。

5-3 複数ロボットの自律協調による生産システムの導入

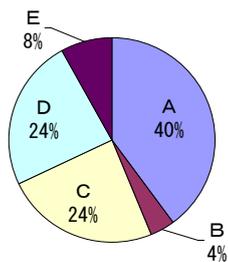
複数ロボットの自律協調による
生産システムの導入



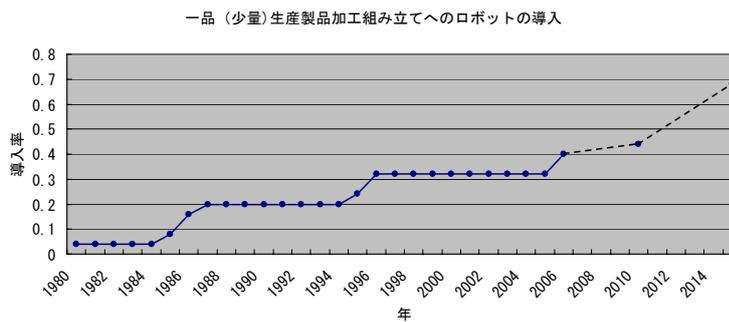
- ① 工場は、生産性を上げようとしているので、ロボットは必要なくなり、専用機械のほうがいいのではないか。
- ② 折りたたみ、梱包作業等に。
- ③ 自律ではないが溶接ロボットで協調作業は行っている。
- ④ やめている。先々には、必要になる可能性がある。
- ⑤ 一部導入し、試行中。
- ⑥ 4台同期動作。
- ⑦ 自律とは言えないが、協調作業は、行っている。

5-4 一品(少量)生産製品加工組み立てへのロボットの導入

一品(少量)生産製品加工組み立てへのロボットの導入



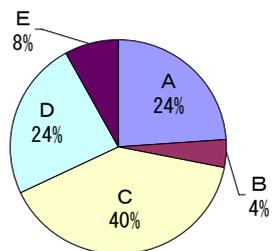
- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない
- E: その他



- ① 重量物。
- ② 一品生産は無いが、一部実施。
- ③ サブ組立で実施。

5-5 セル生産システムの組み立てへのロボットの導入

セル生産システムの組み立て
へのロボットの導入 (3-4)



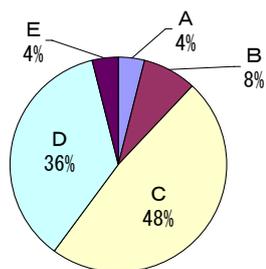
A: すでに導入済み
B: 今後5年以内に導入
C: 将来的には必要である
D: 将来的にも必要ない
E: その他



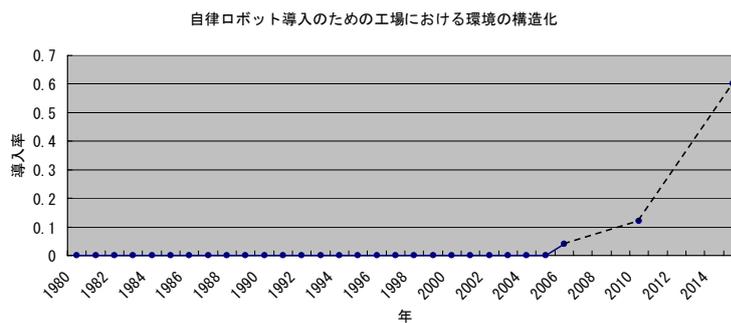
- ① 配膳で安く確実にできるのであればよいが、ワイヤリングまで確実にできるのでないといけない。ロボット化は難しい。
- ② ペイすれば導入する。
- ③ サブ組立で実施。

5-6 自律ロボット導入のための工場における環境の構造化

自律ロボット導入のための
工場における環境の構造化



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他



- ① 全く出来ていない。良いのがあれば使うかもしれない。
- ② 今後必要で、これからである。
- ③ ロボット+センサーなどの高度化は実施するが、現時点では考えられない。

5-7 ロボットに関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術(1/2)

- ① 溶接ロボットは、厚物関係は、技術を渡して、FA機器製造メーカーで作っている。
- ② 重量物をささえてくれるロボットや人間に負荷のかからないロボットが必要だ。
- ③ 介護などのライフアシスト型のロボットの開発を進めている。家事・運搬・安全歩行などを補助するアシストロボットという考え方で進めている。
- ④ センサーがあれば、いろいろなところで使用できる。
- ⑤ ICチップを作るのに、巨大工場がいる。テーブル上でチップができればよい。
- ⑥ 生体からのサンプリング採取等にロボットが使えるかな？
少ロット生産になり、製品寿命が短くなってきたので、ロボット導入が難しくなってきた。
- ⑦ ティーチングを行わずに動かせるロボット技術がほしい。
- ⑧ 特に無い。ロボット開発はやめた。
- ⑨ 人間ができることができるロボットには興味がない。
人間のできないこと、弱いところができるロボットにニーズがある。
パートナーロボット。
- ⑩ ロボットの自社開発は行っている。(協調ロボット、介護ロボットなど)
- ⑪ 現状技術の性能向上。
ビジョンセンサーが重要(システムの外観が、これまでと全く変化する方向)
- ⑫ ロボットの自社開発は行わない。

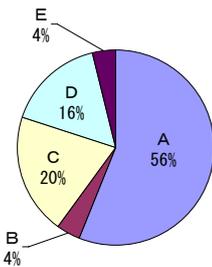
5-7 ロボットに関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術(2/2)

- ⑬ 作業環境を含めて環境を変えずに人と置き換えられるロボットがほしい。
(人間型の必要はない)
- ⑭ ティーチングレス技術
- ⑮ 自社でロボットを作っている。

6 加工技術

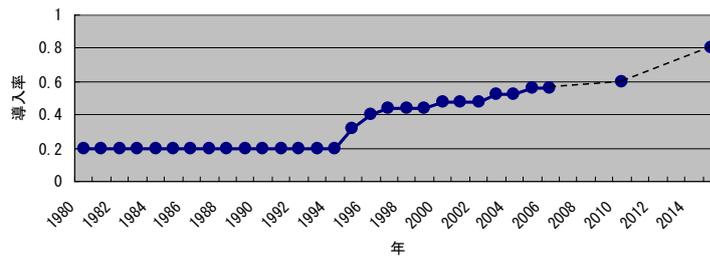
6-1 加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム

加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム



- A : すでに導入済み
B : 今後5年以内に導入
C : 将来的には必要である
D : 将来的にも必要ない
E : その他

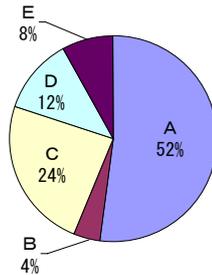
加工プロセスのインプロセス・リアルタイム監視システム



- ① 検討したが、当社の製品では、難しい。
- ② 工具交換のタイミングを監視している。
- ③ 加工が正しく(精度よく)終了したかを自動で調べる技術がない。
現在は人手で行っている。
- ④ 素材系は圧延工程、機械系は形状認識技術(サイズ、心円度)を使っているところがある。
- ⑤ 当面の用途は品質保証への反映
- ⑥ リアルタイムに加工条件を変えることは行っていないが、機械の状態の遠隔監視は実施している。
- ⑦ ミクロンオーダーの加工で実施。搭載済みの装置を購入

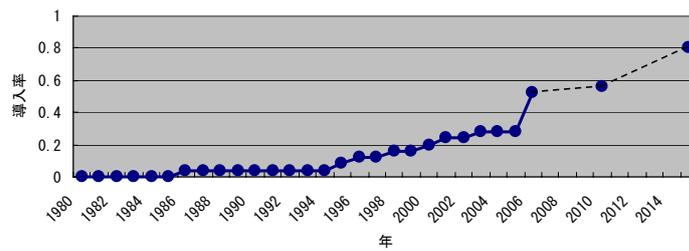
6-2 インテリジェント工具システム

インテリジェント工具システム（工具JIT）



- A：すでに導入済み
- B：今後5年以内に導入
- C：将来的には必要である
- D：将来的にも必要ない
- E：その他

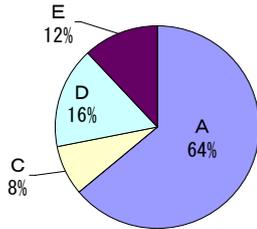
インテリジェント工具システム（工具JIT）



- ① 機械毎で、機械間にまたがってはない。
- ② ツールを計測して、悪いことを示すところまでは、やっている。
- ③ 工具寿命管理を実施している。
- ④ 素材系は圧延ロール交換を半自動で実施。
機械系は工具折損の検知は一部で実施。
- ⑤ 工具は社内で一括管理している。
工具出荷時に補正値をデータとして添付することを行っている。
- ⑥ 知識データベースが無いが近いものはある。
- ⑦ ニーズが無い。

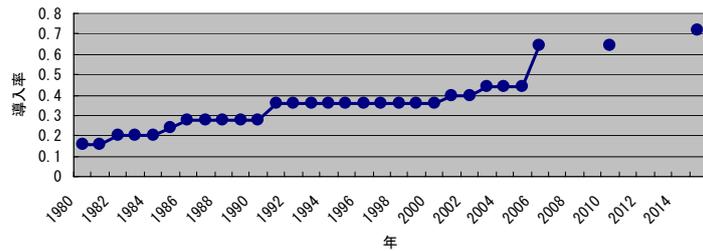
6-3 ニアシェープ鋳造・塑性加工による機械加工量の大幅削減

ニアシェープ鋳造・塑性加工による機械加工量の大幅削減



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない
- E: その他

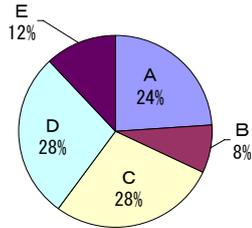
ニアシェープ鋳造・塑性加工による機械加工量の大幅削減



- ① 取り代低減は昔からやっている。
板金製品を鋳造にしたり、シムを鍛造したりなどは、昔から行っている。
- ② 建機の部品、エンジン部品等で実施。
- ③ 当社では、実施していない。
- ④ プレスの金型で実施。
- ⑤ 航空機の部品
- ⑥ ガスタービン
- ⑦ エスカレーター
- ⑧ やっていない。
- ⑨ 将来的にはこのような流れだろうが、部品の生産量に依存すると思う。
少数のものに型(鋳物型など)を作ることは非効率である。
製品のユニット化は進めてゆきたいと考えている。
- ⑩ 金属物は、まず、加工無しで検討してみる。

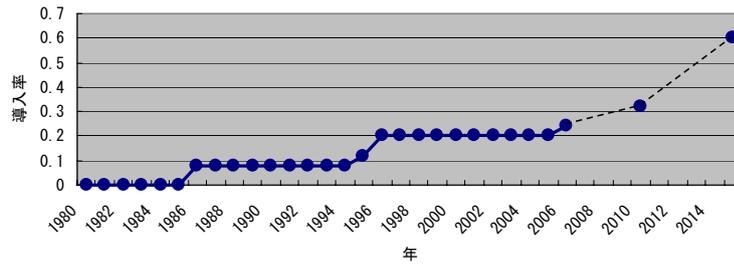
6-4 「切削・研削一体型工作機械による加工工数の削減」導入状況

切削・研削一体型工作機械による加工工数の削減



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

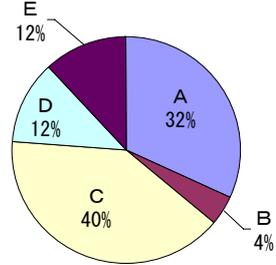
切削・研削一体型工作機械による加工工数の削減



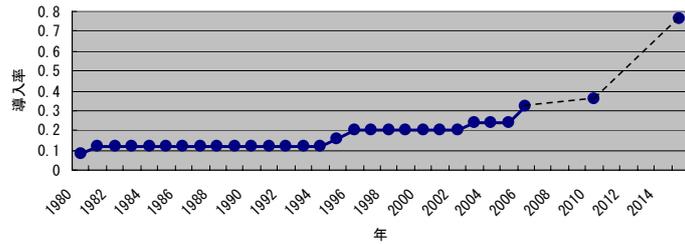
- ① 旋盤やマシニングセンターに砥石をつけることは、している。
普通は研削面は熱処理するので、切削研削一体型は意味が無い。
- ② 切削の高精度化が進み、研削工程をなくす方向ではないか？
- ③ 切削と研削は違いが多すぎる。
やるなら、切削の精度を上げることはしている。
- ④ 全社的に見たときに、重要な生産課題とも思えない。
個々の部品では、やっているかもしれない。
- ⑤ 現状の検討結果では、導入しても生産性があまりよくなる。
- ⑥ 多品種少量生産ラインでは重要。
基本的には、切削と研削を分け、高度専用化している。
- ⑦ 研削盤にミーリング、ターニングができるようにした複合機は、
研削時間の短縮には非常に効果がある。(研削削りしろの平準化)
- ⑧ 大量生産には、向かないと考えている。

6-5 「機械間誤差の自動補償技術」導入状況

機械間誤差の自動補償技術



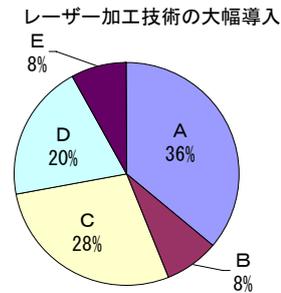
機械間誤差の自動補償技術



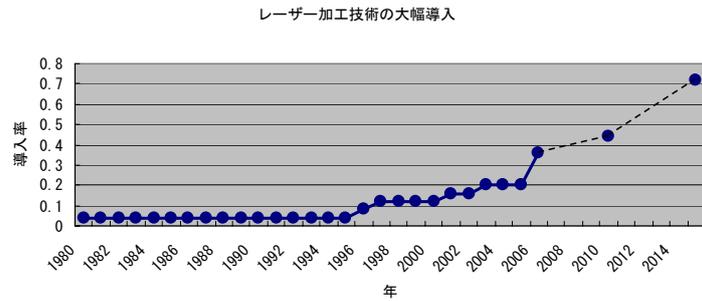
- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

- ① 出来ないと思う。
- ② 素材系は測定値を後工程で自動的に活用。
機械系は「あったらいいな」程度。
- ③ 高精度が要求されるものには必要。
- ④ 同種の機械を並べているラインはない。
- ⑤ 実現は難しいと思っている。
- ⑥ 努力はしているが、結果に結びつかない。

6-6 レーザー加工技術の大幅導入



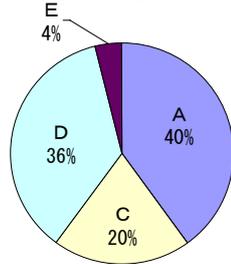
- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他



- ① 薄物板金の溶接部分でやっている。
- ② 製品はレーザー加工ではできない。
- ③ 加工特性などの要求される条件に応じて導入を推進(微細溶接など)
- ④ 全体的には、採用していない。一部でやっている。
薄板の切断、溶接(ひずみなし)
- ⑤ レーザー加工は適材適所でやっている。
- ⑥ 対象となるものがほとんど無い。
- ⑦ 大幅には導入していない。
- ⑧ 部分的に導入。
スポット溶接に代わる方式として一部採用している。
- ⑨ 大幅というわけではなく、レーザに向いている部分のみ
炭酸ガスレーザで、大型化の必要な所で実施。
- ⑩ 接合時のひずみが非常に少ないので、溶接には効果的である。
- ⑪ レーザ加工は行っているが、切削等の代替えでは使っていない。
最近樹脂の溶接に利用。
- ⑫ 接合では利用している。加工には導入に向けて前向きに検討中である。

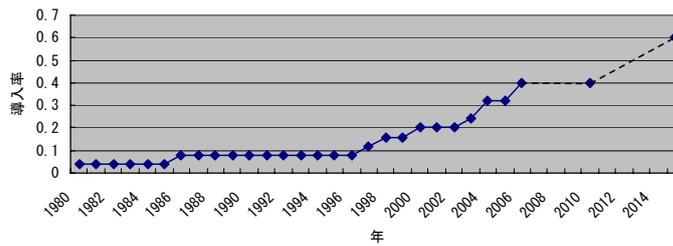
6-7 MEMS技術の部品加工への導入

MEMS技術の部品加工への導入



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

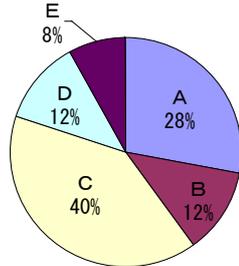
MEMS技術の部品加工への導入



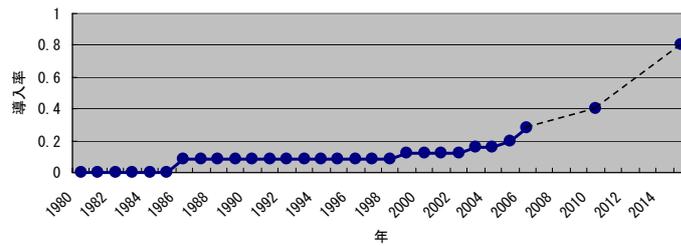
- ① 事例: 圧力センサ・音響センサ・加速度センサ・角速度センサなど
- ② 導入していない。製品の展開しだいで、必要性があればやる。
- ③ 対象となるものがほとんど無い。
- ④ 必要性が低い。
- ⑤ 製品スケールが違うので対象外。
- ⑥ ガラス、金属の微細形状の型の作成。
- ⑦ センサー加工で行っている。

6-8 ミニマル加工システムの導入

ミニマル加工システムの導入



ミニマル加工システムの導入



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

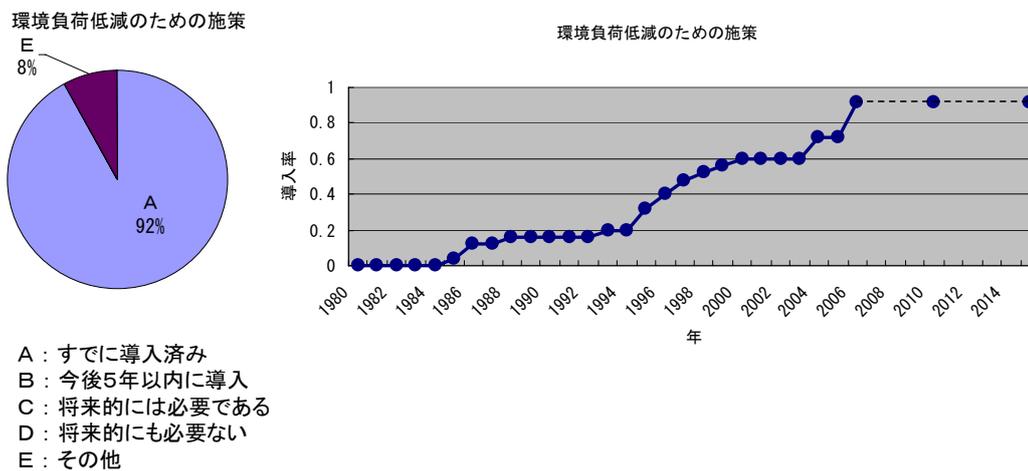
- ① コストダウンを目的とする。
- ② LCAの考え方を適用する考えは、ある。
コスト評価が中心である。
- ③ これからの方向性だと思う。
- ④ 部分的に実施している
将来的には重要な技術との認識
- ⑤ ミニマル加工とは意識していないが、該当する趣旨は検討している。
- ⑥ 販売している製品としては、この傾向にある。
汎用品ではなくワークにあわせた製品性能をもつものを進める。
製品の小型化の傾向はある。

6-9 加工に関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術

- ① ボーリング加工が多く、工具本数が多い。フレキシブルな高能率加工が出来るような設備が必要。
- ② 加工工数を減らす努力をしている。
- ③ ドライ加工、ヘール加工、鑄造技術(砂を使用しない方法は無いか)
- ④ 半導体の超微細化工技術。加工の方法を変えていかないといけない。
- ⑤ セミドライ加工、高能率加工(時間短縮)
- ⑥ 5軸加工による精密加工技術、
複合加工機、
ニアネットシェープによるベアリングのコストダウン
- ⑦ シンプルでスリムな技術
業態を超えた生産システム(鉄鋼メーカーと自動車メーカーが仕事を分けない)
加工しないでもものが作れる技術
- ⑧ 加工技術は、企業のKey技術であり、必要技術と認識している。
(研削・研磨・ラッピングの高度化、Physicsのシミュレーション等)
- ⑨ インラインの計測技術が、加工にとっては重要である。チャックから外して測定して再加工となると精度維持が大変である。できれば、チャックから外さずに測定し、(必要なら)再加工するのが望ましい。
- ⑩ 半導体で培った技術の他分野への応用を行ってゆきたい。

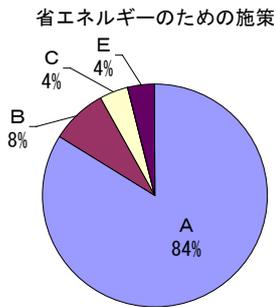
7 環境関連技術

7-1 「環境負荷低減のための施策」導入状況

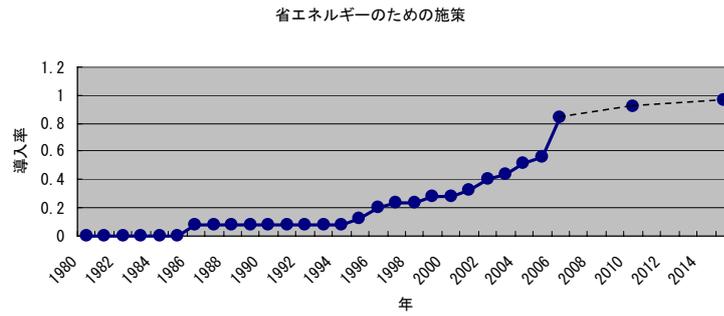


- ① ゼロエミッションを達成した。廃棄物を少なくすることはしている。
- ② ライフサイクルアセスメントを実施。環境性能向上製品などを社内で認定。
- ③ 工場からの排ガス量は5年前の半分にしており、規制値の1/10まで少なくしている。
- ④ 化学物質削減(Pbフリー、塗装ほか)、ゼロエミッション
- ⑤ 製品として、潤滑油の消費量を1/7にした。
- ⑥ ゼロエミッション達成工場がいくつかある。

7-2 「省エネルギーのための施策」導入状況



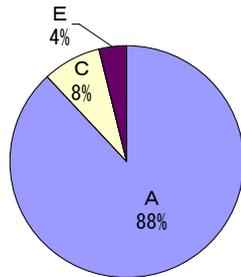
- A : すでに導入済み
 B : 今後5年以内に導入
 C : 将来的には必要である
 D : 将来的にも必要ない
 E : その他



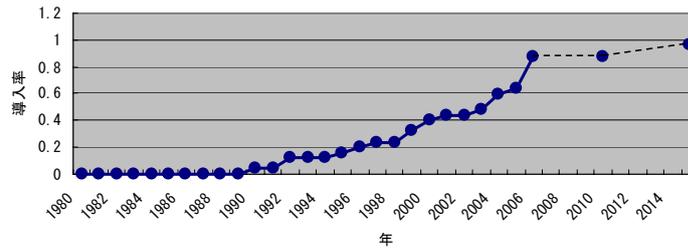
- ① コージェネレーションを導入している。
- ② クリーソファクトリー 生産環境負荷低減のため省エネや廃棄物削減取り組みを項目別に評価
- ③ コージェネは全ての工場に導入。燃料は重油からガスに転換している。溶かす・乾燥・空調にペラボウなエネルギーを使っている。
- ④ 社用車にエコカー導入。廃熱利用、工程の連続化など実施。
- ⑤ 省エネのため、エネルギー効率の良い射出成型機を使用している。
- ⑥ 電力量のライン毎の監視・管理。エアガンの廃止。炉の小型化など。
- ⑦ 40KW太陽光発電装置開発済み。風力発電装置設置。

7-3 「環境負荷低減に配慮した設計」導入状況

環境負荷低減に配慮した設計



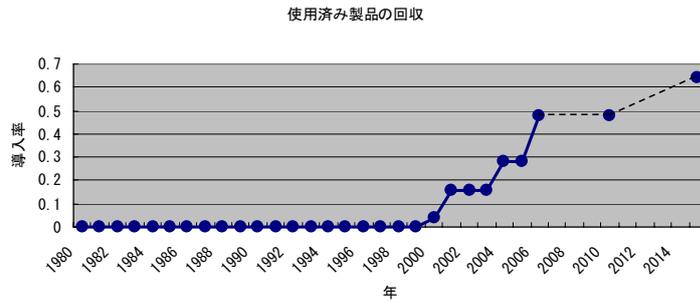
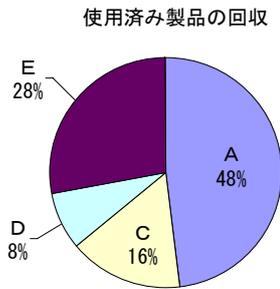
環境負荷低減に配慮した設計



- A: すでに導入済み
- B: 今後5年以内に導入
- C: 将来的には必要である
- D: 将来的にも必要ない
- E: その他

- ① ガイドラインを作っている。
開発のフローの中で、そのガイドラインに照らしてどうかを見ている。
LCA的に見ている。
- ② 高リサイクル率達成を目指し100機種の製品を解体実験を通じ
「設計シミュレータ」を作成、コスト分析
- ③ 鉛フリーを実施。今年からLCAを実施。
- ④ 新しい製品はLCAを実施している。
- ⑤ 環境に影響のある金属を使わない製品開発などを実施。
- ⑥ 鉛含有に対する配慮等をしている。
- ⑦ 軽量化、解体しやすい構造。
- ⑧ 工作機械の冷却水、切削油の冷却にインバータの導入を計画している。
- ⑨ 材料レベルで実施。

7-4 「使用済み製品の回収」導入状況



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

- ① 製品は85%が鉄なので、解体業者が行っている。(解体業者→電気炉)
- ② 家電リサイクル法対象4商品(テレビ・エアコン・冷蔵庫・洗濯機)および資源有効利用促進法パソコンの回収
- ③ 実施していない。 客が修理している。
- ④ 回収している。
- ⑤ 素材系はビジネス的に回収ルートが確立されている。
機械類は東南アジア・中国に流れていくので把握出来ない。
- ⑥ 消費財でないため、回収はしていない。
31年前の製品でも修理して使用。
- ⑦ 回収しようとしている。

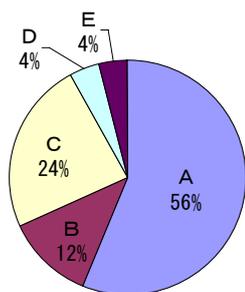
7-5 環境に関する技術で、これから重要と考えられるものや
各社特有な技術

- ① 海外工場におけるCO2削減取り組みにおいては、中国上海でのグリーン電力購入や、排出権取引の活用なども視野に入れて検討。
また、EUにおけるROHS指令について、2005年10月にて31400機種で特定化学物質不使用の対応を完了。
そのための部品購入先まで巻き込んだDB構築を通じた保証体制を確立。
さらに、鉛フリーはんだの進化(低温化など)に取り組んでいる。
- ② 環境製品で役に立つものがあれば、生産したい。
- ③ Rohs対応は大変である。
- ④ 排ガスはなんとか安いコストで対応していきたい。
- ⑤ CO2削減、回収の技術開発が急務。
- ⑥ 業態を超えた省エネ生産システム
- ⑦ Rohs対応
- ⑧ 切削油の消費量の削減は、技術開発ではなく加工技術(生産技術)で対応することが多い。(噴霧、平準な油のかけ方など)
- ⑨ 環境対応では、コストをどのように落とすかが課題である。
- ⑩ 省エネルギーのための製品開発には力を入れている。
コジェネは行っていない。
全社的に、ROSE対応は非常に苦労した。今後追加される24物質対応は戦々恐々である。

8 その他

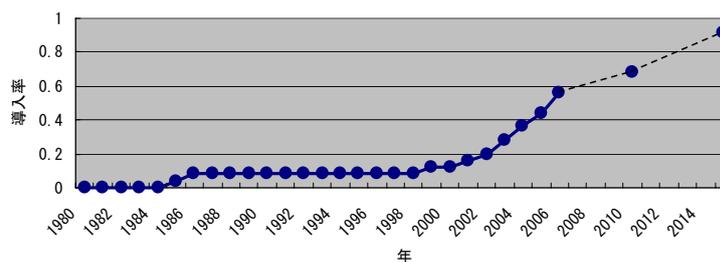
8-1 「技能者のノウハウのデジタル化」導入状況

技能者のノウハウのデジタル化



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

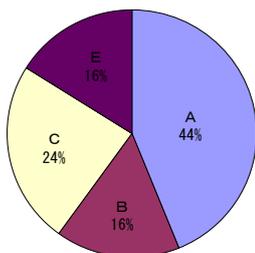
技能者のノウハウのデジタル化



- ① 基本作業の電子化をしている。”カン”は人でないとだめだと思う。
マイスター制度があり、その道のプロをマイスターとして任命し、人から人へ、
伝承している。
マイスターは、特定の仕事を持たない。
- ② 技術の流出をしないようにシステムを作っている。
- ③ 個別ノウハウの映像・音声などを利用したマニュアル化を検討推進中。
- ④ 技能マップを作っているところだ。
紙に書ける範囲書いている。
ノウハウは、設備に落とし込めれば一番よい。
物づくりシステムは、調達システムは、物づくりマニュアル化している。
工程の中のものは、図面に残す。そうでない現場のものは、これからやる。
- ⑤ まさに取り組んでいるが難しい。 ノーハウ集を一部デジタル化している。
- ⑥ 素材系は、重要な作業はビデオ等で残すようにしている。
教育用にも活用している。
- ⑦ ビデオを撮っている。
- ⑧ カンの知識については、実施していない。
- ⑨ 数値化しにくい部分は残る。 いわゆる勘所は難しい。
- ⑩ 作業指示書にすべて書いてあるので、現場にノウハウは無いと考えている。
電子化まではしていない。
- ⑪ 教育システムがある。

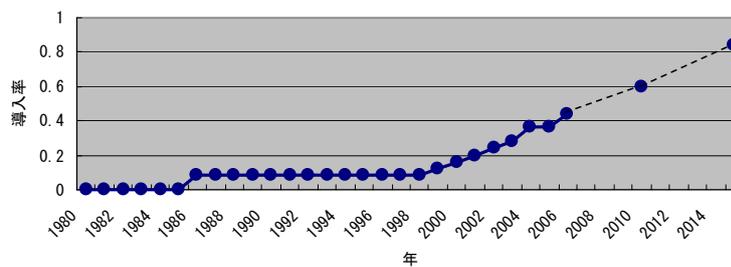
8-2 「生産工程の共通ノウハウのデジタル化」導入状況

生産工程の共通ノウハウのデジタル化



- A : すでに導入済み
- B : 今後5年以内に導入
- C : 将来的には必要である
- D : 将来的にも必要ない
- E : その他

生産工程の共通ノウハウのデジタル化



8-3 コメント

- ① 人の教育に取り組んでいる。(なかなか時間がとれなく、取り組みは進んでいない。教科書にならない技術を対象にしている)
- ② ノウハウと技術を両方やっていかないといけない。
- ③ 最近、製造技術の重要性認識が薄くなってきており、日本の将来を憂慮している。製造現場を良く知らないで、商品開発で生きられると勘違いしているケースが多い。製造技術、熟練技術は水平展開できるものが多い。カンパニー制はそのような技術が階層で分断されて俯瞰的に見れなくなり、問題だ。
- ④ 現有技術を残すことが重要。加工技術は、内部に残していく。
- ⑤ 設計ノウハウを体系化したものづくりナレッジ・マネジメント
- ⑥ 設計業務の効率化が課題で、対応業務の見直しを含めて専任部門を作って対応している。
2007年問題は特にない。(やっと定年退職者が出始めたところである。)
- ⑦ “人づくり”に取り組んでいく計画。対象は設計、製造を含めて全部門。理屈を言える人間を育てる予定。具体的計画はこれから。製造技術の特許とするか公開せずにブラックボックスとするか悩ましいところ。クロスライセンスには特許は必須。内製化率も関係する。
- ⑧ 不具合事例のデータベース化は進めている。スキルの伝承が課題。セミナー、講習などではない教育システムを作りたい。
- ⑨ 生産準備段階等で蓄積した技術情報をデータベース化している。(積極的に利用されていないとのこと)

非 売 品

禁無断転載

平 成 1 8 年 度

次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査報告書

発 行 平成19年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会

〒105-0011

東京都港区芝公園三丁目5番8号

電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター

〒105-0001

東京都港区虎ノ門三丁目11番15号

電 話 03-5472-2561